



**Universidade de Aveiro**  
**Ano 2014**

Departamento de Engenharia Civil

**Marlène dos  
Santos Parada**

**Reabilitação energética de um edifício antigo  
segundo os requisitos EnerPhit**





**Universidade de Aveiro**  
**Ano 2014**

Departamento de Engenharia Civil

**Marlène dos  
Santos Parada**

## **Reabilitação energética de um edifício antigo segundo os requisitos EnerPhit**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação do Professor Doutor Romeu da Silva Vicente Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro



Dedico este trabalho à minha mãe e irmão



## **O júri**

Presidente

**Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa**  
Professora associada do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor António José Barbosa Samagaio**  
Professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues**  
Professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro





## **Agradecimentos**

Com a conclusão desta dissertação queria agradecer a todos que ajudaram na elaboração deste trabalho e também ao longo de todo o meu percurso académico.

Agradeço à minha orientadora, Professora Maria Fernanda Rodrigues por toda a ajuda, e disponibilidade.

Ao Eng. Rui Oliveira, pela ajuda, apoio e disponibilidade.

Quero agradecer à minha família por todo o apoio prestado.



**Palavras-chave**

Reabilitação, edifício do século XIX, eficiência energética, *EnerPhit*, conforto térmico

**Resumo**

A reabilitação energética de edifícios tem um elevado potencial para a redução do consumo de energia e emissões de gases com efeito de estufa, sendo essencial para que se consigam atingir as metas traçadas pela União Europeia para 2020. Relativamente aos edifícios antigos existem fatores que influenciam o seu desempenho térmico e dificultam a sua reabilitação energética, tais como a orientação geográfica, as condicionantes existentes para a aplicação de isolamento na envolvente opaca, o tipo de vãos envidraçados, a ventilação.

A presente dissertação tem como principal objetivo verificar a aplicabilidade dos requisitos de levada eficiência energética estabelecidos pela *Passivhaus* à reabilitação de edifícios existentes, através do padrão *EnerPhit*, a um edifício antigo do século XIX do Porto.

Para alcançar este objetivo, além da pesquisa bibliográfica efetuada, analisou-se o balanço térmico do edifício objeto de estudo, segundo o atual regulamento Português, Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o padrão *EnerPhit*, aplicando o PHPP 8. Otimizaram-se várias soluções construtivas com o intuito de obter um edifício passivo, segundo os requisitos *EnerPhit*. Por último foi elaborado um estudo paramétrico com o objetivo de se verificar se é possível o edifício em estudo cumprir com aqueles requisitos noutras cidades (Bragança, Vila Real, Braga, Viana do Castelo, Viseu e Guarda).

Concluiu-se que é viável a aplicação do padrão *EnerPhit* à reabilitação de um edifício antigo em Portugal nestas regiões climáticas (exceto na Guarda onde não se conseguiu atingir, com as soluções estudadas, o valor estabelecido pelo padrão), alcançando-se um consumo energético reduzido, qualidade do ar interior e conforto térmico.



**Keywords**

Rehabilitation, XIX century building, energy efficiency, EnerPhit, thermal comfort

**Abstract**

Buildings' Energy retrofit has a great potential for the reduction of energy consumption and greenhouse gases emissions being essential to accomplish the EU targets for 2020. For old buildings there are several factors that influence its thermal performance and make difficult its energy retrofit, such as the geographical orientation, the envelope features that condition the insulation, the type of window frames, ventilation.

This work has the main objective to verify the applicability of energy efficiency requirements set by the *Passivhaus* to the refurbishment of existing buildings through the *EnerPhit* standard. A former building of XIX century in Porto was studied.

To accomplish this goal, beyond the literature research, it was analyzed the thermal balance of the old building, according to the current Portuguese thermal code, Regulation of Energy Performance of Residential Buildings (REH), and the standard *EnerPhit* applying the PHPP8. Several design solutions were optimized aiming to obtain a passive building according to the *EnerPhit* requirements. Finally a parametric study was performed to verify if it is possible to implement the building according with these requirements in other Portuguese cities (Bragança, Vila Real, Braga, Viana do Castelo, Viseu and Guarda).

It was concluded that is viable the application of *EnerPhit* requirements in the refurbishment of an old building in Portugal in these climatic regions (except in Guarda where failed to achieve the requirements with the studied solutions), reaching up a significant reduction of energy consumption and a high indoor air quality and thermal comfort.



*As casas são construídas para que se viva nelas, não para serem olhadas”*

*Francis Bacon*





# *Índice*

---



# Índice

<b>Índice .....</b>	<b>III</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>IX</b>
<b>Índice de Tabelas .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de Acrónimos.....</b>	<b>XVII</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>3</b>
1.1. Considerações Gerais .....	3
1.2. Hipótese formulada.....	6
1.3. Objetivos.....	6
1.4. Metodologia.....	6
1.5. Estrutura da Dissertação .....	7
<b>2. Reabilitação Energética de Edifícios .....</b>	<b>13</b>
2.1. Justificação da necessidade de reabilitação energética.....	13
2.2. Certificação energética .....	14
2.3. A reabilitação energética na Europa .....	17
2.4. Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH) .....	19
<b>3. Passivhaus .....</b>	<b>29</b>
3.1. Conceito Passivhaus .....	29
3.2. Certificação <i>Passivhaus</i> .....	31
3.3. Certificação <i>EnerPhit</i> .....	33
3.4. Passive House Planning Package .....	35
3.4.1. “Verification” .....	36
3.4.2. ”Climate Date” .....	36
3.4.3. “U-Values” .....	37
3.4.4. “Areas” .....	38

3.4.5. “Ground” .....	39
3.4.6. “Components” .....	40
3.4.7. “Windows” .....	40
3.4.8. “Shading” .....	41
3.4.9. “Ventilation” .....	43
3.4.10. “Additional Vent” .....	45
3.4.11. “Annual Heating” .....	45
3.4.12. “Heating” .....	49
3.4.13. “Heating Load” .....	49
3.4.14. “SummVent” .....	51
3.4.15. “Summer” .....	51
3.4.16. “Cooling” .....	52
3.4.17. “Cooling Units” .....	53
3.4.18 “Cooling Load” .....	53
3.4.19. “DHW+Distribution” .....	54
3.4.20. “SolarDHW” .....	55
3.4.21. “Electricity e Aux Electricity” .....	55
3.4.22. “Internal Heat Gains” .....	56
3.4.23. “PE value” .....	57
3.4.24. “Compact” .....	57
<b>4. Caso de Estudo para o Porto .....</b>	<b>65</b>
4.1. Descrição do caso de estudo .....	65
4.1.1. Soluções construtivas dos elementos opacos .....	67
4.1.2 Vãos envidraçados e dispositivos de proteção solar .....	73
4.1.3. Sistema de aquecimento e arrefecimento .....	74
4.1.4. Águas Quentes Sanitárias .....	74

4.1.5. Sistemas de coletores solares.....	74
4.1.6. Ventilação.....	75
4.2. Análise energética segundo o REH .....	75
4.2.1. Verificação de requisitos mínimos da envolvente .....	75
4.2.2. Resultados do balanço energético.....	76
4.3 Análise energética segundo o PHPP .....	77
4.3.1. Soluções construtivas .....	77
4.3.1.1. Soluções construtivas de envolvente opaca e translúcida .....	78
4.3.1.2. Sistemas de climatização e ventilação.....	79
4.3.1.3. Pontes Térmicas Lineares .....	79
4.3.2. Análise dos resultados .....	80
4.4. Requisitos mínimos para atingir um edifício <i>EnerPhit</i> .....	81
4.4.1. Sistema de ventilação mecânica .....	81
4.4.2. Otimização de soluções construtivas da envolvente translúcida .....	82
4.4.3. Otimização de soluções construtivas com isolamento térmico (XPS) .....	83
4.4.4. Análise de resultados .....	83
4.5. Estudos complementares .....	85
4.5.1. Soluções construtivas com isolamento térmico (VIP).....	86
4.5.2. Análise de resultados segundo o PHPP .....	87
<b>5. Estudo Paramétrico para diferentes climas.....</b>	<b>97</b>
5.1. Definição das zonas climáticas.....	97
5.2. Análise do desempenho energético do edifício original.....	97
5.2.1. Necessidades de aquecimento .....	98
5.2.2. Carga de aquecimento .....	99
5.2.3. Necessidades de energia primária.....	99
5.2.4. Risco de sobreaquecimento .....	100

5.3. Viabilidade de edifícios <i>EnerPhit</i> noutras localidades .....	101
5.3.1. Otimização de soluções construtivas .....	101
5.3.1.1. Soluções construtivas com isolamento térmico (XPS) .....	101
5.3.1.2. Soluções construtivas com isolamento térmico (VIP) .....	102
5.3.2. Análise energética segundo o PHPP .....	103
5.3.2.1. Edifício <i>EnerPhit</i> para Bragança .....	103
5.3.2.2. Edifício <i>EnerPhit</i> para Vila Real .....	110
5.3.2.3. Edifício <i>EnerPhit</i> para Braga.....	118
5.3.2.4. Edifício <i>EnerPhit</i> para Viana do Castelo.....	125
5.3.2.5. Edifício <i>EnerPhit</i> para Viseu .....	132
5.3.2.6. Edifício <i>EnerPhit</i> para Guarda.....	139
5.4. Influência da orientação do edifício.....	147
5.5. Síntese de resultados.....	148
<b>6. Conclusões .....</b>	<b>157</b>
6.1. Considerações Finais .....	157
6.2. Perspetivas de trabalhos futuros .....	159
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>165</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>171</b>







# Índice de Figuras

Figura 1 - Reabilitação na Europa.....	3
Figura 2 - Índice de produção na construção em Portugal .....	5
Figura 3 - Percentagem de edifícios muito degradados e com necessidade de reparação ....	5
Figura 4 - Número de CE's emitidos por mês/ano .....	16
Figura 5 - Classe energética, por tipo de edifício certificado em Portugal .....	17
Figura 6 - A Passivhaus na Europa .....	30
Figura 7 - Obstrução horizonte.....	42
Figura 8 - Obstrução devido ao posicionamento de instalação da janela.....	42
Figura 9 - Obstrução horizontal .....	42
Figura 10 - Diagrama de balanço energético .....	46
Figura 11 - Alçados do caso de estudo.....	66
Figura 12 - Planta do piso 1,2 e 3.....	66
Figura 13 - Parede exterior (PE1.1) .....	68
Figura 14 - Parede exterior (PE1.2) .....	68
Figura 15 - Parede exterior (PE2.1) .....	69
Figura 16 - Parede exterior (PE2.2) .....	70
Figura 17 - Parede exterior (PE3) .....	70
Figura 18 - Parede exterior (PE4) .....	71
Figura 19 - Parede interior (PI1) .....	72
Figura 20 - Pavimento (LI1 e LI2) .....	73
Figura 21 - Envolvente térmica do edifício.....	78
Figura 22 - Pormenores das pontes térmicas.....	80
Figura 23 - Necessidades nominais anuais do edifício no Porto.....	81
Figura 24 - Traçado da rede de ventilação .....	82
Figura 25 - Necessidade de aquecimento anual para o Porto.....	84
Figura 26 - Carga de aquecimento para o Porto.....	84
Figura 27 - Necessidade de energia primária para o Porto .....	85
Figura 28 - Necessidade de aquecimento anual para o Porto.....	87
Figura 29 - Carga de aquecimento para o Porto.....	88
Figura 30 - Necessidade de energia primária para o Porto .....	88

Figura 31 - Balanço energético do edifício com as soluções construtivas originais .....	90
Figura 32 - Balanço energético do edifício com a solução construtiva otimizada .....	91
Figura 33 - Necessidades de aquecimento anuais para as diferentes regiões .....	98
Figura 34 - Carga de aquecimento para as diferentes regiões .....	99
Figura 35 - Necessidade de energia primária para as diferentes localidades .....	100
Figura 36 - Risco de sobreaquecimento para as diferentes localidades .....	101
Figura 37 - Necessidades de aquecimento anual para Bragança .....	104
Figura 38 - Carga de aquecimento para Bragança.....	104
Figura 39 - Necessidade de energia primária para Bragança .....	105
Figura 40 - Risco de sobreaquecimento para Bragança .....	106
Figura 41 - Necessidade de aquecimento anual para Bragança.....	107
Figura 42 - Carga de aquecimento para Bragança.....	108
Figura 43 - Necessidade de energia primária para Bragança .....	109
Figura 44 - Risco de sobreaquecimento para Bragança .....	109
Figura 45 - Necessidade de aquecimento anual para Vila Real .....	111
Figura 46 - Carga de aquecimento para Vila Real.....	112
Figura 47 - Necessidade de energia primária para Vila Real .....	112
Figura 48 - Risco de sobreaquecimento para Vila Real .....	113
Figura 49 - Necessidade de aquecimento anual para Vila Real .....	115
Figura 50 - Carga de aquecimento para Vila Real.....	116
Figura 51 - Necessidade de energia primária para Vila Real .....	116
Figura 52 - Risco de sobreaquecimento para Vila Real .....	117
Figura 53 - Necessidade de aquecimento anual para Braga .....	119
Figura 54 - Carga de aquecimento para Braga .....	119
Figura 55 - Necessidade de energia primária para Braga.....	120
Figura 56 - Risco de sombreamento para Braga.....	120
Figura 57 - Necessidade de aquecimento anual para Braga .....	122
Figura 58 - Carga de aquecimento para Braga .....	123
Figura 59 - Necessidade de energia primária para Braga.....	123
Figura 60 - Risco de sobreaquecimento para Braga .....	124
Figura 61 - Necessidade de aquecimento anual para Viana do Castelo .....	126
Figura 62 - Carga de aquecimento para Viana do Castelo .....	126

Figura 63 - Necessidade de energia primária para Viana do Castelo.....	127
Figura 64 - Risco de sobreaquecimento para Viana do Castelo.....	128
Figura 65 - Necessidade de aquecimento anual para Viana do Castelo.....	129
Figura 66 - Carga de aquecimento para Viana do Castelo.....	130
Figura 67 - Necessidade de energia primária para Viana do Castelo.....	131
Figura 68 - Risco de sobreaquecimento para Viana do Castelo.....	131
Figura 69 - Necessidade de aquecimento para Viseu.....	133
Figura 70 - Carga de aquecimento para Viseu .....	134
Figura 71 - Necessidade de energia primária para Viseu.....	134
Figura 72 - Risco de sobreaquecimento para Viseu.....	135
Figura 73 - Necessidade de aquecimento anual para Viseu .....	137
Figura 74 - Carga de aquecimento para Viseu .....	137
Figura 75 - Necessidade de energia primária para Viseu.....	138
Figura 76 - Risco de sobreaquecimento para Viseu.....	138
Figura 77 - Necessidade de aquecimento anual para a Guarda.....	140
Figura 78 - Carga de aquecimento para a Guarda.....	141
Figura 79 - Necessidade de energia primária para a Guarda.....	141
Figura 80 - Risco de sobreaquecimento para a Guarda.....	142
Figura 81 - Necessidade de aquecimento anual para a Guarda.....	144
Figura 82 - Carga de aquecimento para a Guarda.....	144
Figura 83 - Necessidade de energia primária para a Guarda.....	145
Figura 84 - Risco de sobreaquecimento para a Guarda.....	146
Figura 85 - Fator de sombreamento do horizonte .....	176



# Índice de Tabelas

Tabela 1 - Síntese do Decreto-Lei n.º118/2013, das respetivas portarias e despachos .....	21
Tabela 2 - Critérios de Certificação <i>Passivhaus</i> e <i>EnerPhit</i> .....	34
Tabela 3 - Fator de redução para sombreamento temporário com soluções envidraçadas de baixa emissividade .....	43
Tabela 4 - Média da carga de produção de calor interno.....	48
Tabela 5 - Carga de aquecimento .....	50
Tabela 6 - Vãos e dispositivos de proteção solar .....	73
Tabela 7 - Dados técnicos da bomba de calor .....	74
Tabela 8 - Verificação dos requisitos mínimos segundo o REH.....	75
Tabela 9 - Verificação dos requisitos mínimos dos envidraçados segundo o REH.....	76
Tabela 10 - Necessidades energéticas anuais segundo o REH.....	77
Tabela 11 - Soluções iniciais do edifício para o Porto .....	78
Tabela 12 - Necessidades nominais anuais originais do edifício do Porto .....	81
Tabela 13 - Soluções construtivas para o Porto .....	83
Tabela 14 - Requisitos do edifício para o Porto .....	85
Tabela 15 - Soluções construtivas para o Porto .....	86
Tabela 16 - Requisitos para o edifício do Porto .....	89
Tabela 17 - Cidades definidas para o caso de estudo Despacho n.º 15793-F/2013 .....	97
Tabela 18 - Soluções construtivas com isolamento térmico XPS .....	102
Tabela 19 - Solução construtiva com isolamento térmico VIP .....	103
Tabela 20 - Requisitos do edifício para Bragança.....	106
Tabela 21 - Redução das necessidades nominais anuais para Bragança.....	107
Tabela 22 - Requisitos do edifício para Bragança.....	110
Tabela 23 - Redução das necessidades nominais anuais para Bragança.....	110
Tabela 24 - Requisitos do edifício para Vila Real .....	114
Tabela 25 - Redução das necessidades nominais anuais para Vila Real.....	114
Tabela 26 - Requisitos do edifício para Vila Real .....	117
Tabela 27 - Redução das necessidades nominais anuais para Vila Real.....	118
Tabela 28 - Requisitos do edifício para Braga .....	121
Tabela 29 - Redução das necessidades nominais anuais para Braga .....	121

Tabela 30 - Requisitos do edifício em Braga .....	124
Tabela 31 - Reduções das necessidades nominais para Braga .....	125
Tabela 32 - Requisitos do edifício para Viana do Castelo .....	128
Tabela 33 - Reduções das necessidades nominais anuais para Viana do Castelo .....	129
Tabela 34 - Requisitos do edifício para Viana do Castelo .....	132
Tabela 35 - Reduções das necessidades de energia primária para Viana do Castelo .....	132
Tabela 36 - Requisitos do edifício para a Viseu .....	136
Tabela 37 - Reduções das necessidades nominais anuais para Viseu .....	136
Tabela 38 - Requisitos do edifício para Viseu .....	139
Tabela 39 - Reduções das necessidades nominais anuais para Viseu .....	139
Tabela 40 - Requisitos do edifício para a Guarda .....	142
Tabela 41 - Reduções das necessidades nominais anuais para a Guarda .....	143
Tabela 42 - Requisitos do edifício para a Guarda .....	146
Tabela 43 - Reduções das necessidades nominais anuais para a Guarda .....	147
Tabela 44 - Soluções construtivas das localidades para isolamento térmico XPS .....	148
Tabela 45 - Soluções construtivas das localidades para isolamento térmico VIP .....	148
Tabela 46 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno .....	175
Tabela 47 - Critérios para a determinação da zona climática de verão .....	175







# Lista de Acrónimos

INE – Instituto Nacional de Estatísticas

REH - Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação

ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção

PHPP – Passive House Planning Package

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

AECOPS – Associação de Empresas de Construção Obras e Públicas do Sul

EPBD - Energy Performance of Buildings Directive

NZEB - Nearly Zero Energy Building

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

REHVA – Representatives of European Heating and Ventilating Associations

IPHA - International Passive House Association

OMS - Organização Mundial de Saúde

CPCI - Confederação Portuguesa da Construção e do Imobiliário

BEI - Banco Europeu de Investimento

JESSICA - Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas

VIP – Painele de Isolamento a Vácuo (Vaccum Insulated Panel)



# *Capítulo 1*

---

INTRODUÇÃO



# **1. Introdução**

1.1. Considerações Gerais

1.2. Hipótese formulada

1.3. Objetivos

1.4. Metodologia

1.5. Estrutura da Dissertação



# 1. Introdução

## 1.1. Considerações Gerais

Desde a antiguidade que o Homem se preocupa em construir a sua própria casa, com o intuito de se salvar das condições atmosféricas. Assim, apareceram os primeiros aldeamentos que se transformaram naquilo que hoje se conhece como aldeias, vilas e cidades.

Em Portugal, nas últimas décadas, ocorreu um grande crescimento do número de edifícios construídos essencialmente como resultado da melhoria das condições de vida e também da facilidade de acesso ao crédito bancário.

A atual conjuntura económica e financeira do Estado Português, da população e do sistema bancário, levou à recessão do setor da construção, existindo atualmente milhares de habitações novas e usadas para venda. Segundo a AECOPS (Associação de Empresas de Construção Obras e Públicas do Sul) existem 550 mil casas devolutas em Portugal. Isto representa cerca de 10% de todo o mercado habitacional [Jornal Económico, 2010].

Perante estes dados é premente investir-se na reabilitação e reutilização do parque edificado existente em detrimento da construção de novas edificações.

Portugal é ainda hoje um dos países que menos investe na reabilitação. No contexto Europeu, seguem esta mesma tendência, a República Checa, a Irlanda e a Eslováquia [Figura 1].

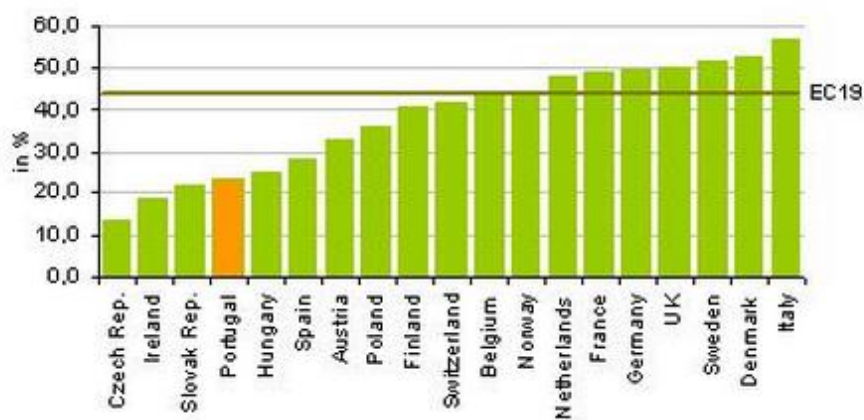


Figura 1 - Reabilitação na Europa [Euroconstruct, 2005]

Em Portugal tem-se procedido à demolição de construções antigas que se degradaram com o passar do tempo e à construção nova que na maioria das vezes se encontra em desarmonia com os restantes edifícios.

João Appleton (2010) defende que preservar uma construção existente apresenta pelo menos as seguintes vantagens económicas por comparação à demolição/reconstrução, das quais se salientam: a redução dos custos da demolição; redução dos custos com licenças e taxas; aprovação mais facilitada de projetos; redução dos custos de estaleiro e redução das quantidades de novos materiais a utilizar. Além disso os preços unitários dos trabalhos de reabilitação não são forçosamente mais elevados do que os de novos e correspondentes trabalhos, pois o custo total da intervenção de reabilitação pode ser menor do que o da construção de um edifício novo.

Estudos recentes sobre edifícios na Estónia, Kurnitski et al., (2014) revelam que para a reabilitação de edifícios comerciais e industriais, o investimento é baixo, uma vez que o custo do m<sup>2</sup> se situa entre 20 e 100€; para a reabilitação de edifícios residenciais têm um investimento de aproximadamente de 200 €/m<sup>2</sup>, sendo que em edifícios mais antigos o custo eleva-se a 300€/m<sup>2</sup>.

A sustentabilidade na construção está associada à reabilitação, logo pela contribuição para princípios base da sustentabilidade: de prevenção logo diminuição dos impactes no solo; diminuição do nível de extração de matérias-primas não renováveis; diminuição de elevados consumos energéticos e consequentes emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa. Está também interligada com a minimização dos impactes ambientais, resultantes da reutilização de recursos naturais, racionalizando o uso da energia e usando tecnologias que permitem economizar os mais diversos recursos [Lima et al., 2012]. Assim a reabilitação deve ser compreendida como “a oportunidade de promover a sustentabilidade ambiental”, uma vez que pode conciliar, “a preservação do património, a atualização das condições de funcionamento e conforto, e a melhoria do desempenho ambiental” [Delgado, 2008].

O índice de produção na construção tem vindo a regredir ao longo dos últimos anos. O Instituto Nacional de Estatística em Portugal indica, conforme se verifica na Figura 2, que



ao longo dos últimos dois anos, a construção de edifícios diminuiu consideravelmente [INE, 2013].

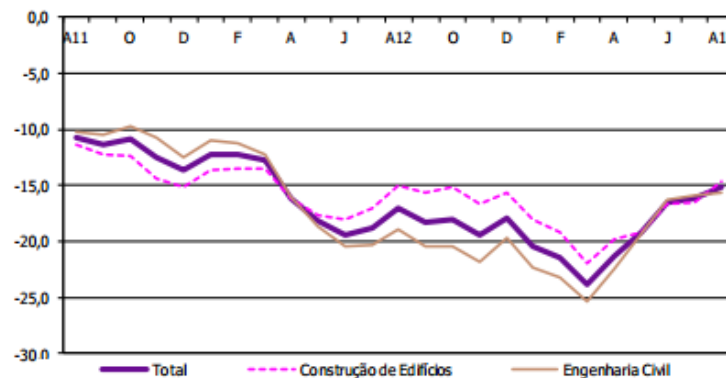


Figura 2 - Índice de produção na construção em Portugal [INE, 2013]

Segundo os dados dos Censos de 2011, as cidades de Lisboa e do Porto (Figura 3) são as que têm o parque edificado mais antigo, tendo índices de envelhecimento bastante elevados, logo com forte necessidade de intervenção [INE, 2013].

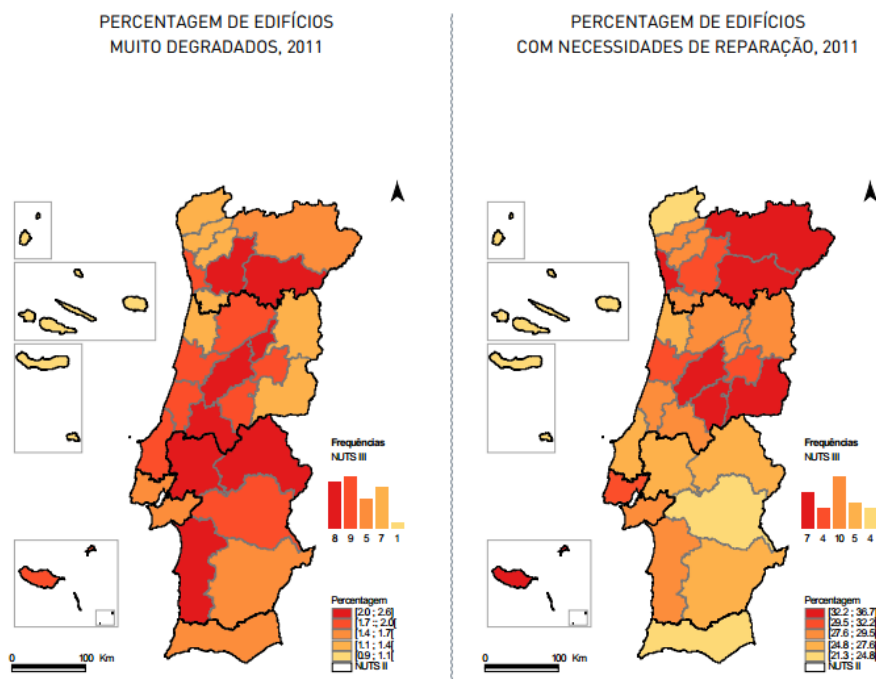


Figura 3 - Percentagem de edifícios muito degradados e com necessidade de reparação [INE, 2013]

## 1.2. Hipótese formulada

Com o desenvolvimento da presente dissertação pretende-se responder à seguinte questão: será possível aplicar os requisitos *EnerPhit* à reabilitação energética de um edifício do século XIX do Porto?

## 1.3. Objetivos

Para responder à questão formulada este trabalho tem como principais objetivos: estudar a aplicação do Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação- REH; estudar a aplicação dos requisitos *EnerPhit* e efetuar o balanço térmico com recurso ao *Passive House Planning Package* - PHPP; efetuar a comparação entre os resultados obtidos através da aplicação do REH e do PHPP à reabilitação energética de um edifício do século XIX no Porto; estudar várias soluções construtivas que conduzem a um edifício passivo; efetuar o respetivo balanço térmico através da aplicação do PHPP e proceder à elaboração de estudos paramétricos.

## 1.4. Metodologia

A metodologia adotada para alcançar os objetivos predefinidos passa, essencialmente, por uma pesquisa bibliográfica que permite, num primeiro momento, contextualizar o estado do parque edificado europeu, e que demonstra a necessidade de reabilitação do mesmo e num segundo momento, fazer a caracterização dos programas implementados na reabilitação a nível europeu e, apresentar o conceito *Passivhaus* e *EnerPhit*, os princípios que o sustentam e as razões que fazem deste método, um método válido no processo de reabilitação de edifícios antigos.

De seguida foi realizada uma análise da aplicação do REH e do PHPP 8 à reabilitação energética de um edifício do século XIX do Porto. Foram efetuados cálculos nas respetivas folhas de cálculo, comparando-se os resultados obtidos. Definiram-se várias soluções construtivas com o intuito de obter um edifício passivo, segundo os requisitos do *Passivhaus* para a reabilitação – padrão *EnerPhit*, com a aplicação do PHPP 8 para efetuar o balanço térmico. Foi elaborado um estudo paramétrico com o objetivo de se verificar se é possível implementar o edifício em estudo em outras cidades e verificar quais serão as

soluções construtivas para obter um edifício passivo. Por último foi efetuado um estudo sobre a influência da orientação do edifício.

## **1.5. Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos, onde são abordados vários temas.

O presente capítulo no qual se apresenta a introdução, onde se expõe as considerações gerais, objetivos, hipótese formulada, metodologia e estrutura da dissertação.

O capítulo 2 resume o conceito de reabilitação energética de edifícios, como se apresenta a reabilitação na Europa e quais são os programas de reabilitação.

O capítulo 3 aborda o conceito *Passivhaus*, a certificação *Passivhaus* e *EnerPhit*, e explicação sintetizada da folha de cálculo PHPP 8.

O capítulo 4 apresenta a descrição do objeto de estudo, a análise do REH e do PHPP 8 e as soluções construtivas adotadas para o caso de estudo.

O capítulo 5 apresenta o estudo paramétrico efetuado nas várias localidades escolhidas, com o intuito de se verificar a viabilidade do edifício passivo, em estudo, nessas mesmas localidades e qual a importância da influência da orientação do edifício.

Por último, o capítulo 6 apresenta as conclusões finais obtidas com o estudo realizado e propostas de trabalho.



# *Capítulo 2*

---

REABILITAÇÃO



## **2. Reabilitação Energética de Edifícios**

2.1. Justificação da necessidade de reabilitação energética

2.2. Certificação energética

2.3. A reabilitação energética na Europa

2.4. Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH)





## **2. Reabilitação Energética de Edifícios**

### **2.1. Justificação da necessidade de reabilitação energética**

A reabilitação energética de edifícios é uma área do setor da construção que pode ser aplicada a edifícios não degradados, para lhes conferir uma qualidade superior à que possuíam aquando da sua construção, ou a edifícios degradados através da realização de obras de conservação com a devida periodicidade, ou sobre edifícios construídos segundo padrões sub-regulamentares sem o correspondente licenciamento municipal [Silva et al., 2012].

A intervenção nesta área torna-se fundamental, uma vez que, entre outros, um dos grandes problemas da atualidade é a utilização descontrolada e irracional de energia, provocada pela melhoria da qualidade de vida da população. Ao falar de consumo de energia e tratando-se de fontes de energia não-renováveis, urge alterar os hábitos e fontes energéticas utilizadas, por forma a preservar a reposição natural das mesmas [Silva et al., 2012].

O parque de edifícios existentes em países europeus representa mais de 40% do consumo final de energia na União Europeia (UE), dos quais o uso residencial representa 63% do consumo total de energia do setor dos edifícios. Por conseguinte, um aumento do desempenho energético pode constituir um importante instrumento nos esforços para aliviar a dependência das importações de energia da UE (atualmente em cerca de 48%) e cumprir o Protocolo de Kyoto<sup>1</sup> para reduzir as emissões de dióxido de carbono e de outros gases de efeito de estufa [Poel et al., 2007]. O elevado consumo energético é causado, quer pelo uso intensivo de dispositivos de arrefecimento, quer de aquecimento e iluminação. A falta de isolamento térmico faz com que haja um grande desperdício de energia com o qual grande parte da população aceita viver. É também necessário ter em conta que o aumento significativo dos custos de energia faz com que a importância da eficiência energética se torne um fator extremamente importante a considerar. Assim, é imperioso alterar as lacunas existentes, intervindo na melhoria do conforto proporcionado pelas características

---

<sup>1</sup> Protocolo de Kyoto - acordo internacional voltado para a redução das emissões de gases de efeito estufa. O protocolo foi o resultado de um longo processo de debate e negociações envolvendo diversos países de todos os continentes.

do edifício, o que implicará uma diminuição do consumo dos recursos naturais ao longo do ciclo de vida do respetivo edifício, bem como a redução dos custos energéticos [Ganhão, 2011].

Um estudo apresentado por Dall'O, et al., (2012) sobre as *Sustainable Cities and Society* levado a cabo em cinco municípios da província de Milão, visou desenvolver um procedimento para avaliar a poupança energética através da reabilitação energética, que permitirá cumprir o objetivo da União Europeia para 2020 de redução em 20% do CO<sub>2</sub> e de 20 % de energia. Neste sentido, e de forma a alcançar poupanças de energia realistas, foi realizado um registo de consumos de energia e conduzida uma pesquisa em larga escala para cada município. Conhecendo as características do parque imobiliário está-se em condições de saber quais as intervenções de reabilitação energética exequíveis do ponto de vista técnico, legal e económico, como o SEAP (*Sustainable Energy Action Plan*), que é um documento-chave que define a forma como atingir as metas de redução de CO<sub>2</sub> até 2020. Este método é uma ferramenta de auxílio para poder identificar onde é necessário realizar melhoria, no que diz respeito à energia, para poder reduzir o consumo de cerca de 20% de energia.

## **2.2. Certificação energética**

Atualmente, em Portugal, existem cerca de 577 mil certificados energéticos registados no SCE (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios) [Adene, 2013]. Esta certificação surge com o objetivo de melhorar o desempenho energético e ambiental do parque edificado, servindo como uma ferramenta que permite, incentivar a redução das necessidades de energia dos novos edifícios ou dos edifícios sujeitos a reabilitações, e a identificação da oportunidade de medidas de melhoria nos edifícios existentes. A sua implementação decorreu da transposição da Diretiva Europeia n.º 2002/91/CE do Parlamento Europeu, de 16 de Dezembro, sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD, 2002), que levou ao incremento de requisitos relativamente aos elementos construtivos, sistemas energéticos e utilização de energias renováveis. Contudo, estudos elaborados pela REHVA (*Representatives of European Heating and Ventilating Associations*) relativamente à implementação da EPBD (2002) divulgaram grandes diferenças nos regulamentos técnicos nos países europeus.

Estas tiveram implicações significativas no mercado da construção e introduziram dificuldades na produção, comercialização, instalação e dimensionamento [Kurnitski et al., 2011].

A Diretiva Europeia 2002/91/CE (EPBD, 2002) foi transposta para o Direito Nacional Português de 4 de Abril de 2006 através de um pacote legislativo composto por três Decretos-lei: o Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE, 2006) que transpõe parcialmente para a ordem jurídica a Diretiva nº 2002/97/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios; o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE, 2006) e o Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 2006) [EPBD, 2010].

Com a necessidade de reduzir rapidamente a emissão dos gases de efeito de estufa e do consumo energético a nível europeu, a EPBD (2002) sofreu uma reformulação em 2010. A Diretiva 2010/31/UE, de 18 de Junho, tem por objetivo clarificar e simplificar algumas disposições; alargar o âmbito da diretiva; reforçar algumas das suas disposições a fim de aumentar a eficácia do respetivo impacto e prever o papel de liderança do setor público [EPBD, 2010].

Os dados que contabilizam o número de certificados emitidos de janeiro de 2007 até agosto de 2011 (exclusivamente durante a vigência do RCCTE (2006)), como se verifica na Figura 4, foram emitidos aproximadamente 450.000 Certificados Energéticos - CE's que correspondem a 10.000 CE's /mês e a 2.800 Declarações de Conformidade Regulamentar - DCR's/mês. De referir que 75% dos certificados emitidos correspondem a edifícios já existentes [Adene, 2012].

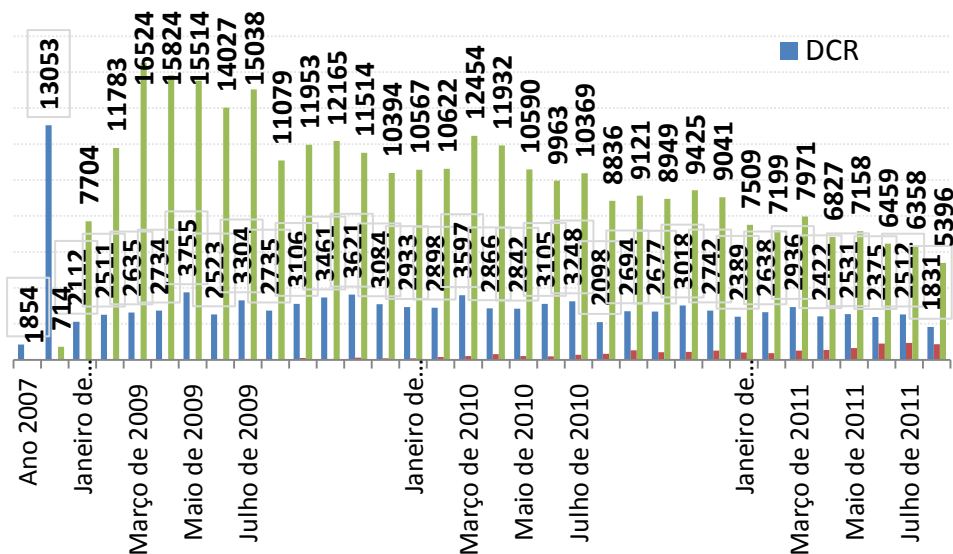


Figura 4 - Número de CE's emitidos por mês/ano [Adene, 2012]

A qualificação energética dos edifícios é apresentada numa escala pré-definida de 7+2 classes ( $A^+$ , A, B,  $B^-$ , C, D, E, F e G). A classe  $A^+$  corresponde a um edifício com melhor desempenho energético, e a classe G corresponde a um edifício de pior desempenho energético. De referir que as classes energéticas variam apenas entre as classes  $A^+$  e  $B^-$  para os edifícios com pedido de licença de construção após a entrada em vigor do SCE, enquanto que para os edifícios já existentes variam entre A e G.

Após a análise da Figura 5, é possível constatar nos edifícios residenciais que a certificação com maior percentagem é a classe C (superior a 30%) e a classe com menor percentagem de atribuição é a classe  $A^+$  (menos de 5%). Nos edifícios de serviços, a classe com maior percentagem corresponde à classe G (com quase 40%) e a classe com menor percentagem, à semelhança dos edifícios residenciais, é a classe  $A^+$  (quase nula), pelo que é possível concluir que a população vive e trabalha em locais onde se verifica uma grande perda energética, além do desconforto [Adene, 2012].

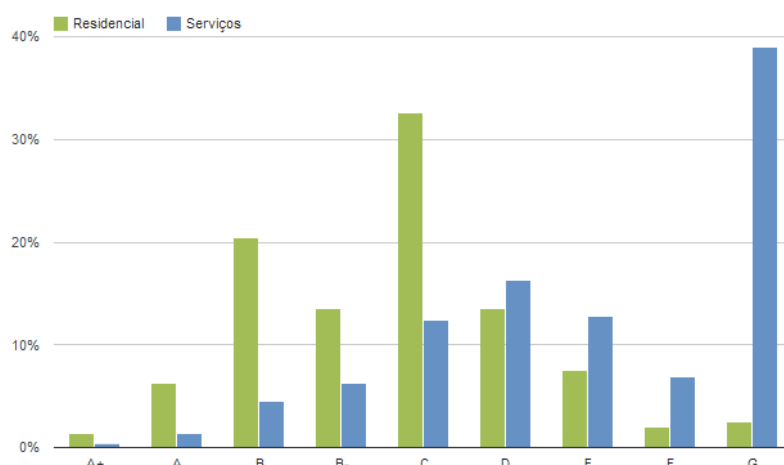


Figura 5 - Classe energética, por tipo de edifício certificado em Portugal [Adene, 2012]

### 2.3. A reabilitação energética na Europa

Em sete países europeus foram realizadas 349 auditorias relativamente à degradação dos elementos de construção e instalações prediais. Essas auditorias foram efetuadas na Dinamarca, França, Alemanha, Grécia, Polónia, Itália e Suíça. A análise dos dados foi alvo de uma investigação sobre os fatores que influenciam a deterioração dos elementos de construção e a estimativa da vida útil dos mesmos. Os fatores gerais para a realização deste estudo foram a localização dos edifícios, condições climáticas; poluição; idade do edifício e ocupação do edifício. Concluiu-se que a Alemanha tem melhores condições arquitetónicas e a Suíça piores condições arquitetónicas. No que diz respeito às instalações prediais, a Dinamarca corresponde ao país com melhores condições e a Suíça, novamente com piores condições a nível de instalações prediais [Constantino, A.Balares et al., 2005]. A nível Europeu a reabilitação representa cerca de 36,8% do total da construção, enquanto em Portugal é de apenas 6,5%, que corresponde segundo Manuel Reis Campos, presidente da Confederação Portuguesa da Construção e do Imobiliário (CPCI) “a pouco mais de um sexto do que se produz em termos de habitação” [CPCI, 2010].

A Organização Mundial de Saúde (OMS) está a realizar um estudo que envolve 15 países da UE e 12 da Europa de Leste, tendo concluído que grande parte da população vive nas suas habitações com uma temperatura de conforto inferior a 18°C, devido essencialmente a fatores económicos. “A OMS destaca a importância de reconhecer a incapacidade de

manter as habitações quentes, facto que tem sérias consequências na vida e saúde das pessoas [Morbey, 2012].

O Banco Europeu de Investimento (BEI) é um dos maiores financiadores a nível mundial no setor da energia. Este intensifica o apoio ao investimento em energias renováveis e eficiência energética. Segundo Mihai Tenasescu, vice-presidente do BEI, “A adoção de novos critérios de financiamento representa um importante passo no empenho do BEI no investimento para a energia, que suporta as políticas da UE e reflete a urgente necessidade de financiamento que o setor enfrenta. Dar prioridade de financiamento a estes setores ajudará a UE a atingir as metas climáticas e energéticas e criar emprego na Europa” [Edifícios e Energia, 2013].

Em 2013, o Banco Europeu de Investimento (BEI) financiou projetos em Portugal com o montante total de 970 milhões de euros com o intuito de reabilitar as zonas urbanas de Lisboa e do Porto, uma vez que são as cidades mais degradadas [BEI, 2014].

Um dos grandes apoios que a Europa tem é a *Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas* (JESSICA), que é um apoio europeu comum para o investimento sustentável nas zonas urbanas, que envolve várias áreas, como as infraestruturas urbanas; locais de carácter patrimonial; requalificação de locais industriais abandonados e melhoria da eficiência energética. “A implementação da iniciativa JESSICA, em Portugal, está enquadrada pelo Acordo de Participação (Funding Agreement), assinado a 20 de julho de 2009” [IFDR, 2009].

Na União Europeia (UE), a reabilitação do parque edificado poderá ajudar a gerar mais de 2 milhões de empregos e a atenuar dificuldades económicas. A *Renovate Europe*, é uma campanha iniciada pela EuroACE – Aliança Europeia de Empresas para a Eficiência Energética nos Edifícios, que pretende triplicar a taxa anual de renovação do património edificado até 2020 e assegurar uma redução de 80% no consumo energético dos edifícios até 2050 [Renovate Europe, 2011].

Segundo Adrian Joyce, diretor da *Renovate Europe Campaign*, “Ainda que a Diretiva para o Desempenho Energético dos Edifícios e a Diretiva de Eficiência Energética tenham sido grandes sucessos, têm de ser implementadas de forma ambiciosa, se queremos conseguir uma redução de 80% das necessidades energéticas dos edifícios na UE” [Renovate Europe, 2014].

A Diretiva 2002/91/CE de 16 de dezembro (EPBD, 2002) tinha como principal objetivo a melhoria do desempenho energético de novos edifícios. Esta diretiva aplicava-se apenas a edifícios existentes quando objeto de uma grande reabilitação. A Diretiva para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD, 2010), aprovada no final de 2009, adotou uma postura mais severa, uma vez que, todos os edifícios novos terão que ser *Near-zero energy* (NZEB) a partir de 2020. Isto significa que os edifícios existentes devem apresentar baixas necessidades energéticas devido, quer ao melhor desempenho térmico da envolvente, quer aos equipamentos instalados serem mais eficientes. As necessidades energéticas remanescentes devem ser asseguradas pela utilização de fontes renováveis.

## **2.4. Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH)**

A Diretiva n.º 2010/31/UE, foi publicada a 19 de maio de 2010, com o objetivo de reformular a EPBD (2002). Esta nova Diretiva clarificou alguns princípios e introduziu novas disposições, com o intuito de melhorar o desempenho energético dos edifícios. Portanto, com a publicação da Diretiva n.º 2010/31/EU, houve uma revisão da legislação nacional, melhorando a sua sistematização, envolvendo num só diploma o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [Decreto-Lei n.º 118/2013].

O Estado Português tem vindo a manifestar uma maior preocupação no que diz respeito à eficiência energética dos edifícios, que se manifesta, quer no diagnóstico dos mesmos, quer na aplicação das práticas de reabilitação mais adequadas [Decreto-Lei n.º 118/2013].

Com a aprovação destes diplomas legais houve um destaque elevado para temas relacionados com a eficiência energética e para o recurso de energias renováveis em edifícios.

Os edifícios de habitação existentes sujeitos a grandes intervenções devem ser avaliados e submetidos a uma melhoria significativa do comportamento térmico, à reparação de patologias existentes, ao melhoramento do conforto interior, com vista à redução das necessidades energéticas. Para a redução das mesmas é imprescindível incidir nas

caraterísticas da envolvente opaca e envidraçada, na ventilação e nas necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento [Decreto-Lei n.º 118/2013].

Para poder atingir os objetivos referidos, estabelecem-se requisitos de qualidade térmica da envolvente dos edifícios, representados em coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca e do fator solar dos envidraçados. Também é necessário ter em conta os requisitos da ventilação dos espaços, estabelecendo um valor mínimo de cálculo para a taxa de renovação de ar. Por último, aplica-se o cálculo do valor das necessidades nominais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) e arrefecimento ( $N_{vc}$ ) e o cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária dos edifícios ( $N_{tc}$ ), estabelecendo limites para essas necessidades.

Segundo o REH têm de se verificar as seguintes condições:

- Necessidades nominais de energia para aquecimento  $N_{ic} / N_i < R$  [kWh/(m<sup>2</sup>ano)];
- Necessidades nominais de energia para arrefecimento  $N_{vc} / N_v < R$  [kWh/(m<sup>2</sup>ano)];
- Necessidade de energia útil  $Q_a / A_p \leq Q_a / A_{p \text{ ref}}$  [kWh/(m<sup>2</sup>ano)];
- Necessidade nominais de energia primária  $N_{tc} / N_t / R$  [kWh/(m<sup>2</sup>ano)].

No Anexo A encontra-se toda a explicação e respetivas fórmulas para obter a classe energética de um edifício.

O Decreto-Lei n.º118/2013, é regulamentado pelas portarias n.º249-B/2013 e n.º249-C/2013, e pelos despachos: n.º15793-C/2013, n.º15793- D/2013, n.º15793- F/2013, n.º15793- H/2013, n.º15793- I/2013, n.º15793- J/2013 e n.º15793- K/2013, cujo âmbito de aplicação se indica na Tabela 1.



Tabela 1 - Síntese do Decreto-Lei n.º118/2013, das respetivas portarias e despachos

<b>Decreto-Lei n.º 118/2013</b>	Visa assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [Decreto-Lei n.º 118/2013].
<b>Portaria n.º349-B/2013</b>	Define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados SCE, bem como requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e sujeitos a grande intervenção [Portaria n.º349-B/2013].
<b>Portaria n.º 349-C/2013</b>	Estabelece os elementos que deverão constar dos procedimentos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas de edificação, bem como de autorização de utilização [Portaria n.º 349-C/2013].
<b>Despacho n.º 15793-C/2013</b>	Procede à publicação dos modelos associados aos diferentes tipos de pré-certificado e certificado do sistema de certificação energética (SCE) a emitir para os edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes [Despacho n.º 15793-C/2013].
<b>Despacho n.º 15793-D/2013</b>	Procede à publicação dos fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária [Despacho n.º 15793-D/2013].
<b>Despacho n.º 15793-F/2013</b>	Procede à publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados [Despacho n.º 15793-F/2013].

<b>Despacho n.º 15793- H/2013</b>	Procede à publicação das regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis de acordo com o tipo de sistema (sistemas solares térmicos; sistemas solares fotovoltaicos; sistemas eólicos; biomassa; geotermia; mini-hídrica; aerotérmica e geotérmica – bombas de calor) [Despacho n.º 15793-H/2013].
<b>O Despacho n.º 15793- I/2013</b>	Procede à publicação das metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária [Despacho n.º 15793-I/2013].
<b>Despacho n.º 15793-J/2013</b>	Procede à publicação das regras de determinação da classe energética [Despacho n.º 15793-J/2013].
<b>Despacho n.º 15793- K/2013</b>	Procede à publicação dos parâmetros térmicos para o cálculo do coeficiente global de transferência de calor; coeficiente de transmissão térmica superficial; coeficiente de transmissão térmica linear; coeficiente de absorção da radiação solar; fator de utilização de ganhos; quantificação da inércia térmica; fator solar de vãos envidraçados; fator de obstrução da radiação solar; fração envidraçada; fator de correção da seletividade angular dos envidraçados; coeficiente de redução de perdas; taxa de renovação de ar [Despacho n.º 15793-K/2013].

Para facilitar o cálculo destes parâmetros foi desenvolvida e fornecida pelo *ITeCons* (Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção), uma folha de cálculo para facilitar a aplicação ou exequibilidade do novo regulamento [IteCons, 2013].





# *Capítulo 3*

---

PASSIVHAUS



### **3. *Passivhaus***

3.1. Conceito *Passivhaus*

3.2. Certificação *Passivhaus*

3.3. Certificação *EnerPhit*

3.4. *Passive House Planning Package* (PHPP)





## 3. Passivhaus

### 3.1. Conceito Passivhaus

As "Casas passivas" foram definidas como edifícios que, no clima da Europa Central, têm uma exigência de energia de aquecimento pequena e, portanto, não necessitam de aquecimento ativo. Estas casas podem ser mantidas aquecidas "passivamente", usando as fontes de calor internas existentes, a energia solar captada pela envolvente translúcida, pelo aquecimento decorrente das cargas internas e pela supressão de infiltrações de ar fresco. A prova teórica para a viabilidade das "casas passivas na Europa Central" foi testada através de simulações computadorizadas do balanço energético dos edifícios [Feist, 1993].

O conceito *Passivhaus* surgiu na década de 80, tendo o primeiro edifício sido concluído em 1990 na Alemanha (Darmstadt). O principal objetivo deste tipo de construção é a redução da perda de calor no interior do edifício. Como afirma o precursor deste conceito Wolfgang Feist “*The best energy is less energy*”.

Na Alemanha, a climatização incide essencialmente no inverno, em que as temperaturas exteriores mínimas são de cerca de -16 °C. A *Passivhaus* estabeleceu como temperatura interior de conforto os 20°C.

Em 1995, Wolfgang Feist classificou os conceitos passivos adotados nas casas de Darmstadt, dando origem ao padrão *Passivhaus*, que consiste, essencialmente, em três requisitos: um limite de energia (aquecimento e arrefecimento); um requisito de qualidade (conforto térmico) e um conjunto definido de sistemas passivos preferenciais que permitem cumprir o limite energético e de qualidade sem um custo elevado. É geralmente caracterizado por um desempenho de baixo consumo de energia do edifício; por envolventes super isoladas e estanques, pelo uso de ventilação mecânica com recuperação de calor (MVHR) e pela otimização da utilização dos ganhos solares passivos. No entanto, a obtenção de critérios de conforto térmico claramente definidos também são fundamentais para o conceito [S. McLeod et al., 2013].

Segundo Feist et al., (2005), uma casa *Passivhaus* pode economizar mais de 50% do consumo total de energia primária, ou seja, para o aquecimento, água quente sanitária,

ventilação e todos os aparelhos elétricos. Estes resultados foram confirmados pela avaliação de mais de 100 unidades habitacionais em cinco países europeus. O conceito foi introduzido com sucesso em edifícios residenciais na Alemanha, Áustria e Suíça, e provocou o desenvolvimento de componentes altamente eficientes de energia. Atualmente, este conceito é aplicado em edifícios de escritórios, escolas e de outros usos e é cada vez mais aplicado na reabilitação de edifícios.

Presentemente há mais de 10.000 edifícios em todo o mundo certificados segundo este padrão, entre casas individuais a edifícios de escritórios, escolas e lojas (Figura 6). No que se refere a casas passivas sem certificação *Passivhaus*, o número é francamente superior e impossível de contabilizar, na medida em que todas as aplicações feitas aos edifícios com vista ao ganho de energia interna e consequente redução de gasto energético, aproximam as casas do conceito *Passivhaus* sem que estas sejam certificadas como tal [iPHA, 2013].



Figura 6 - A Passivhaus na Europa [iPHA, 2013]

Para além dos edifícios *Passivhaus*, também há edifícios com baixa energia designados edifícios *low-energy*. Esses edifícios têm como objetivo reduzir o consumo de energia, mas não de uma forma tão exigente como a norma *Passivhaus*. Os critérios de certificação variam de país para país, conforme a sua zona climática. Foi realizado um estudo cujo objetivo foi comparar edifícios passivos com edifícios *low-energy* em Viena, Áustria. Este estudo concretizou-se com base nas condições ambientais internas; avaliação do utilizador; uso de energia; emissões de CO<sub>2</sub> bem como dados relativos aos custos da construção. Este

estudo conclui que os edifícios passivos em comparação com os *low-energy* usam significativamente menos energia para aquecimento e oferecem condições interiores um pouco melhores. Assim, as despesas adicionais necessárias para a sua construção podem ser compensadas num período de tempo bastante curto [Mahdavi et al., 2010].

### 3.2. Certificação *Passivhaus*

O conceito *Passivhaus* foi desenvolvido na Alemanha, pelo Instituto *Passive House* e é considerado, atualmente, o padrão mais exigente relativamente à eficiência energética dos edifícios [PHI, 2014.]. A necessidade anual de aquecimento de habitações *Passivhaus*, deve ser igual ou inferior a 15 kWh/(m<sup>2</sup>ano), assumindo uma temperatura de conforto interior de 20°C; a carga de aquecimento deve ser igual ou inferior a 10 W/m<sup>2</sup>; o consumo de energia primária deve ser igual ou inferior a 120 kWh/(m<sup>2</sup>ano); a taxa de renovação do ar, verificada através dum teste (*Blower Door*) de pressurização (positiva e negativa) a 50 Pa ( $n_{50}$ ) deve ser igual ou inferior a 0,60 renovações de ar por hora, e o conforto térmico deve ser atingido em todas as áreas habitacionais durante o inverno e no verão, sendo que, para evitar o sobreaquecimento na estação de arrefecimento não se pode exceder 10% das horas com uma temperatura interior superior a 25°C [PHI, , 2014.].

Para alcançar essas exigências, combina-se uma envolvente térmica de elevada eficiência com a ventilação mecânica com recuperação de calor, que garante também a qualidade do ar interior. Assim, para países da Europa Central, a envolvente do edifício tem de cumprir várias exigências térmicas, tais como [PHI, 2014.]:

- O isolamento térmico

Todos os componentes da envolvente exterior do edifício devem ser muito bem isolados. Para climas mais frios, isto significa um coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) de 0,15 W/(m<sup>2</sup>K) no máximo, ou seja, são perdidos no máximo 0,15 watts por grau de diferença de temperatura e por metro quadrado da superfície exterior.

- Janelas

Os caixilhos das janelas devem ser bem isolados e equipados com vidros de baixa emissividade preenchido com argon ou cripton para evitar as perdas térmicas. Para climas

mais frios, é exigido um valor máximo de  $U$  de 0,80 W/(m<sup>2</sup>K), e fator solar ( $g$ ) em torno de 50%.

- Recuperação de calor

A aplicação de um sistema de ventilação mecânico com recuperação de calor, permite uma boa qualidade do ar interior e economia de energia. Num edifício *Passivhaus*, pelo menos 75% do calor do ar de exaustão é transferido para o ar fresco que é insuflado no edifício, por meio de um permutador de calor.

- Estanqueidade ao ar do edifício

As infiltrações e exfiltrações devem ser menores do que 0,6 do volume total do edifício por hora durante um teste de pressurização (tanto positiva como negativa) a 50 Pascal.

- Ausência de pontes térmicas

Todas as ligações devem ser planeadas e executadas com muito cuidado, para que as pontes térmicas possam ser evitadas. As pontes térmicas, que não podem ser evitadas devem ser minimizadas tanto quanto possível.

Este padrão representa um fator de redução de 6-12 da carga de aquecimento em climas amenos, como o sul da Europa, e um fator de redução superior a 30 em regiões de clima frio com exigências mínimas de isolamento. Onde os edifícios não são normalmente aquecidos para atingirem temperaturas confortáveis, a adoção de uma envolvente térmica com um desempenho alto, contribui para a obtenção de condições de conforto, reduzindo o consumo de energia de aquecimento em termos absolutos [IPCC, 2014].

O uso de energia para o arrefecimento dos edifícios está a aumentar rapidamente em muitas regiões, onde, com a combinação de componentes úteis de arquitetura vernacular com princípios modernos passivos, não seria necessário recorrer a sistemas de refrigeração ativos. Estas medidas aplicam-se a regiões que têm uma forte variação diária de temperatura (onde uma combinação de isolamento externo, elevada massa térmica interior, e ventilação noturna, pode manter as condições de conforto interior), ou uma forte variação sazonal da temperatura (de modo que o solo pode ser utilizado para arrefecer o ar de

insuflação) ou que são secas, permitindo a implementação de estratégias de arrefecimento evaporativo ou estratégias híbridas de arrefecimento: evaporativo/mecânico [IPCC, 2014].

Combinando níveis de isolamento que cumpram os requisitos da *Passivhaus* para as necessidades de aquecimento no sul da Europa, com as estratégias acima referidas, as cargas de aquecimento podem ser reduzidas por um fator de 6-12 (de 100-200 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para 10-15 kWh/(m<sup>2</sup>ano)) e as cargas de arrefecimento por um fator de 10 (de <30 kWh/(m<sup>2</sup>ano)) [J. Sachneider et al., 2009].

### 3.3. Certificação *EnerPhit*

A certificação *EnerPhit*<sup>2</sup> foi desenvolvida pelo *Passive House Institute* com o objetivo de identificar as melhorias a implementar na renovação de edifícios antigos que não conseguem cumprir os critérios da *Passivhaus*.

A um edifício antigo também se podem aplicar os requisitos estabelecidos pelo padrão *Passivhaus* a novos edifícios [EnerPhit, 2010]. No entanto, para os edifícios mais antigos muitas vezes é difícil atingir o padrão *Passivhaus*. Por esta razão, o *Passive House Institute* desenvolveu o “*EnerPhit – Quality-Approved Energy Retrofit with Passive House Components*” *Certificate*. O princípio básico é melhorar partes relevantes do edifício com componentes passivos. Desta forma, quase todas as vantagens do padrão *Passivhaus* podem ser obtidas na reabilitação, mesmo que a necessidade de aquecimento não seja reduzida até 15 kWh/(m<sup>2</sup>ano) [Passipédia, 2014].

Os requisitos *Passivhaus* para edifícios reabilitados são menos exigentes que os prescritos para edifícios novos, devido às particularidades inultrapassáveis de cada edifício existente. No entanto, há edifícios reabilitados que conseguem cumprir os requisitos dos edifícios novos, mas esses casos são exceções [Gavião, 2012].

Os critérios de certificação *EnerPhit* são de 120 kWh/(m<sup>2</sup>ano) relativamente ao valor limite para as necessidades de energia primária, incluindo a energia necessária para aquecimento, arrefecimento, água quente, eletricidade auxiliar, iluminação e outros usos de eletricidade,

---

<sup>2</sup> O padrão *EnerPhit* foi desenvolvido pelo *Passive House Institute* e permite reconhecer as melhorias na renovação de edifícios mais antigos que não conseguem cumprir os critérios *Passivhaus*.

podendo ser superior tendo em conta a necessidade de aquecimento, sendo calculadas através da equação (Eq.1):

$$Q_p \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano}) + ((Q_H - 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})) \times 1,2 \quad (1)$$

As necessidades de aquecimento não podem ser superiores a 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano) e quanto à estanquidade ao ar, o objetivo mantém-se em 0,6 renovações por hora, mas foi estabelecido um limite máximo de 1 renovação por hora [EnerPhit, 2010].

Nos edifícios existentes pode ser alcançada uma economia de energia entre 75% e 90% através da melhoria do isolamento térmico, da redução das pontes térmicas, da aplicação de janelas com melhor qualidade e da instalação dum sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor altamente eficiente e usar fontes de energias renováveis [EnerPhit, 2010].

De seguida indicam-se na Tabela 2, os critérios de certificação *Passivhaus* e *EnerPhit*.

Tabela 2 - Critérios de Certificação *Passivhaus* e *EnerPhit*

<b>Critérios</b>	<i>Passivhaus</i>	<i>EnerPhit</i>
<b>Necessidade de aquecimento anual</b>	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$	$\leq 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$
<b>Necessidade de energia primária</b>	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})^*$
<b>Estanqueidade ao ar</b>	$n_{50} \leq 0.6 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$

\*Valor obtido através da equação (Eq.1)

Os requisitos da *Passivhaus* podem assim ser aplicados tanto a edifícios já existentes, como à construção de novos edifícios. Independentemente da idade de um edifício, uma janela detentora das exigências da *Passivhaus* diminuirá a perda de calor até 70% comparativamente com uma janela normal de vidro duplo; a insolação adicionada a um edifício já existente reduzirá até 90% a perda de calor através das paredes, cobertura e pavimento; a instalação de um sistema de ventilação com recuperação de calor diminuirá em cerca de 75% a 90% as perdas por ventilação. Assim, os produtos e as tecnologias *Passivhaus* funcionam em qualquer edifício novo ou antigo [EnerBuilding, 2008].

No entanto, os edifícios antigos oferecem diferentes desafios, uma vez que, a reabilitação energética e a instalação de sistemas de aquecimento ou arrefecimento, muitas vezes envolvem modificações estruturais e custos associados. Por esta razão ainda que, a reabilitação de edifícios antigos através do conceito *Passivhaus*, possa implicar custos superiores ao valor do próprio edifício quase devoluto, o importante é fazer uma avaliação prévia, isto é, fazer uma auditoria energética do edifício. Os resultados desta auditoria entram no *software* de cálculo do balanço energético - *Passive House Planning Package* (PHPP), para determinar os requisitos específicos para a reabilitação a ser feita ao edifício, e poder, desta forma, certificar-se se há um benefício económico para a sua realização.

### **3.4. Passive House Planning Package**

O *Passive House Planning Package* (PHPP) constitui uma ferramenta de projeto baseada numa folha de cálculo direcionada a arquitetos e engenheiros para ajudar no projeto de edifícios para efetuar o respetivo balanço térmico. Esta folha de cálculo é usada para calcular os coeficientes de transmissão térmica; calcular balanços energéticos; determinar taxas de ventilação e as necessidade de energia de aquecimento e arrefecimento, bem como as cargas de aquecimento e arrefecimento.

Para se obter o balanço térmico aplicando os requisitos do padrão *EnerPhit*, utiliza-se o *software Passive House Planning Package* (PHPP), baseado numa folha de cálculo (Excel), que contém os respetivos cálculos para o balanço de energia e a necessidade anual de energia do edifício.

Neste trabalho aplicou-se a versão 8 deste *software*, PHPP 8, cuja aplicação se sintetiza nos pontos seguintes tendo por base o Manual *Passive House Planning Package* (MPHPP, 2008).

### 3.4.1. "Verification"

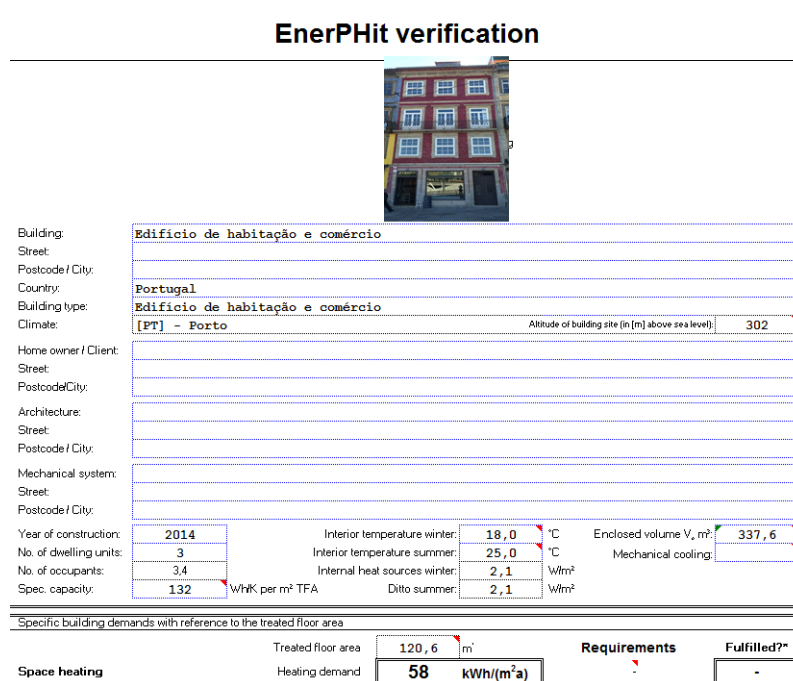
#### *Verification*

##### **Descrição**

Introdução de dados sobre o edifício a tratar, tais como o ano de construção, número de frações, temperatura interior durante a estação de aquecimento (20°C) e de arrefecimento (25°C), volume da superfície e a capacidade térmica. É possível seleccionar o tipo de edifício em estudo, se é um edifício de habitação ou não. No final do preenchimento de todas as folhas de cálculo, esta folha indica se as necessidades de aquecimento anual e as necessidades de energia primária cumprem os limites impostos pelo padrão.

##### **Vista**

**EnerPHit verification**



Building: Edifício de habitação e comércio  
Street:   
Postcode / City:   
Country: Portugal  
Building type: Edifício de habitação e comércio  
Climate: [PT] - Porto Altitude of building site (in [m] above sea level): 302

Home owner / Client:   
Street:   
Postcode / City:   
Architecture:   
Street:   
Postcode / City:   
Mechanical system:   
Street:   
Postcode / City:

Year of construction: 2014 Interior temperature winter: 18,0 °C Enclosed volume V, m³: 337,6  
No. of dwelling units: 3 Interior temperature summer: 25,0 °C  
No. of occupants: 3.4 Internal heat sources winter: 2,1 W/m² Mechanical cooling:   
Spec. capacity: 132 W/m² per m² TFA Ditto summer: 2,1 W/m²

Specific building demands with reference to the treated floor area

	Treated floor area	Requirements	Fulfilled?*
Space heating	120,6 m²	Heating demand: 58 kWh/(m²a)	-

### 3.4.2. "Climate Date"

#### *Climate Date*

##### **Descrição**

Esta folha corresponde à introdução da zona climática onde se localiza o edifício em estudo. Para se efetuar o balanço térmico do edifício, inicia-se com a importação dos dados climáticos da zona onde está



inserido. O PHPP contém um conjunto de dados climáticos típicos da Europa Central, sendo possível importar outros dados climáticos através do acesso à zona restrita da *Passipidea* [Passipédia, 2014]. Para a presente dissertação, foi selecionado o clima do Porto, sendo a altitude considerada de 302 metros.

Vista

EnerPHit planning: **CLIMATE DATA**

Building: Edifício de habitação e comércio

Climate building: [PT] - Porto

Monthly data: [PT] - Porto

Annual data: no

Use annual climate data set: no

Results:

Annual heating demand: 58,0 kWh/(m²a)

Heating load: 31,3 W/m²

Primary energy: 172,0 kWh/(m²a)

Region: S-Europe

Climate data set: [PT] - Porto

Weather station (altitude): 100,0 m

Building location (altitude): 302 m

Transfer to annual method (Annual Heating)

H <sub>f</sub>	148	d/a
G <sub>f</sub>	38	kWh/a
North	87	kWh/(m²a)
East	218	kWh/(m²a)
South	441	kWh/(m²a)
West	230	kWh/(m²a)
Horizontal	347	kWh/(m²a)

Parameters for PHPP calculated ground temperatures:

Phase shift months: 0.60

Damping: -0.31

Depth m: 1.00

[ES] - Barcelona: 1.00

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30
[PT] - Porto	Latitude	41.1	Longitude °	-8.6	Altitude m	100	Daily temperature swing Summer (K)		
Ambient temp	9.0	9.4	11.8	12.4	14.4	17.4	18.2	18.4	17.4
North	15	19	27	35	47	51	50	39	28
East	38	46	79	90	114	116	119	117	85
South	105	92	125	101	94	86	91	112	123
West	42	46	77	90	105	116	113	111	87
Global	59	71	126	151	193	208	206	192	145
Dew point	6.7	6.6	7.7	9.3	11.5	14.0	15.2	15.8	14.5
Sky temp	-0.1	0.1	1.5	2.4	5.3	7.5	9.2	9.0	8.9
Ground temp	12.3	11.2	11.1	12.0	13.7	15.7	17.5	18.7	18.8
Comment:	Meteonorm V6. Comparison with IWEC data, 2011 PH								

### 3.4.3. “U-Values”

#### U-Values

Esta folha de cálculo permite calcular os coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ) das paredes exteriores, interiores, pavimentos e cobertura. O cálculo do coeficiente de transmissão térmica é obtido através da seguinte equação (Eq.2):

Descrição

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (2)$$

## Vista

### EnerPHit planning: U - VALUES OF BUILDING ELEMENTS

Building:  Wedge-shaped building assemblies (tapered insulation), unventilated air layers and unheated attics

Assembly no.  Building assembly description  --> Auxiliary calculation to the right

Heat transfer resistance [m<sup>2</sup>K/W] interior  $R_{si}$   interior insulation? ☐ yes

Heat transfer resistance [m<sup>2</sup>K/W] exterior  $R_{se}$

Area section 1	$\lambda$ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	$\lambda$ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	$\lambda$ [W/(mK)]	Thickness [mm]
1. Cerâmico	1,300					20
2. Alvenaria em granito	2,800					250
3. Reboco tradicional	1,300					20
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						

Percentage of sec. 1  Percentage of sec. 2  Percentage of sec. 3

U-value supplement  W/(m<sup>2</sup>K) U-Value:  W/(m<sup>2</sup>K)

Total  cm

### 3.4.4. “Areas”

#### Areas

#### Descrição

Nesta folha de cálculo é inserida a área útil, área da envolvente opaca, pontes térmicas planas e pontes térmicas lineares. Essas áreas estão divididas em grupos e cada uma delas tem atribuído um código: área útil; janelas localizadas a norte; janelas localizadas a este; janelas localizadas a sul; janelas localizadas a oeste; janelas horizontais (claraboias); porta exterior; parede exterior – ambiente; parede exterior – enterradas; cobertura e laje. As áreas da envolvente térmica do edifício são medidas pelo exterior, com exceção da área útil do pavimento que é medida pelo interior e de acordo com a sua orientação.

Vista

EnerPHit planning:

AREAS DETERMINATION

Building: Edifício de habitação e comércio

Heating demand: 58 kWh/a

Summary

Group Nr.	Area group	Temp. zone	Area	Unit	Comment
1	Treated floor area		120,57	m²	Treated floor area according to PHPP manual
2	North windows	A	17,16	m²	Results come from the "Windows" worksheet. Window areas are subtracted from individual opaque areas, which is displayed in the "Windows" worksheet.
3	East windows	A	0,00	m²	
4	South windows	A	4,03	m²	
5	West windows	A	0,00	m²	
6	Horizontal windows	A	0,00	m²	Please subtract area of door from respective building assembly
7	Exterior door	A	2,43	m²	
8	Exterior wall - Ambient	A	43,55	m²	Temperature zone "A" is ambient air
9	Exterior wall - Ground	B	0,00	m²	Temperature zone "B" is the ground
10	Floor/Ceiling - Ambient	A	49,63	m²	Temperature zones "A", "B", "P" and "I" may be used. NOT "I"
11	Floor slab / Basement ceiling	B	49,63	m²	
12			0,00	m²	Temperature zones "A", "B", "P" and "I" may be used. NOT "I"
13			0,00	m²	Temperature zones "A", "B", "P" and "I" may be used. NOT "I"
14	Parede Interior	X	64,26	m²	Temperature zone "X". Please provide user-defined reduction factor (0 < f < 1). Factor for X: 90%
15	Thermal bridges Ambient	A	140,36	m	Units in m
16	Perimeter thermal bridges	P	11,45	m	Units in m; temperature zone "P" is perimeter (see Ground worksheet)
17	Thermal bridges F56BC	B	7,30	m	Units in m
18	Partition wall to neighbour	I	117,09	m²	No heat losses, only considered for the heating load calculation
Total thermal envelope			230,69	m²	

### 3.4.5. “Ground”

#### Ground

Descrição

Esta folha contabiliza as perdas de calor pelas lajes em contato com o solo. Consideram-se quatro tipos de laje de piso: cave climatizada; cave não aquecida; pavimento em contato com o solo; e laje suspensa. O edifício em estudo na a presente dissertação corresponde a uma cave não aquecida (fração sobre espaço não útil – café).

Vista

EnerPHit planning: HEAT LOSSES THROUGH THE GROUND					
Building section 1					
Ground characteristics			Climate data		
Thermal conductivity	$\lambda$	2,0 W/(mK)	Avg indoor temp. winter	$T_i$	18,0 °C
Heat capacity	$\rho c$	2,0 MJ/(m³K)	Avg indoor temp. summer	$T_{i,s}$	25,0 °C
Periodic penetration depth	$\delta$	3,17 m	Avg ground surface temperature	$T_{g,ave}$	14,7 °C
			Amplitude of $T_{g,ave}$	$T_{g,a}$	4,7 °C
			Phase shifting of $T_{g,m}$	$\tau$	1,3 Months
			Length of the heating period	$n$	4,9 Months
			Heating degree hours - exterior	$G_e$	31,2 kWh/a
Building data			U-value floor slab/basement ceiling	$U_f$	0,425 W/(m²K)
Area of ground floor slab / basement ceiling	A	49,6 m²	TB's floor slab / basement ceiling	$\Psi_{g1}$	0,37 W/K
Perimeter length	P	24,5 m	U-value floor slab / basement ceiling incl. TBs	$U_f'$	0,432 W/(m²K)
Charact. dimension of floor slab	B'	4,06 m	Equivalent thickness floor	$d_f$	4,62 m
Floor slab type (select only one)					
Slab on grade					
Perimeter insulation width/depth	D	m	Orientation of perimeter insulation	horizontal	
Perimeter insulation thickness	$d_p$	m	(check only one field)	vertical	x
Conductivity perimeter insulation	$\lambda_n$	W/(mK)			

### 3.4.6. “Components”

#### Components

##### Descrição

Esta folha contém os componentes (sistemas de paredes, lajes, vãos envidraçados, vidros, sistemas de ventilação) do edifício. Podem seleccionar-se os componentes das listas preexistentes ou introduzir-se aquele que vai ser utilizado.

##### Vista

EnerPHit planning: **PASSIVE HOUSE - COMPONENTS**

Go to: 'AREAS'  
Glazing  
Window frame

<http://www.passiv.de/komponentendatenbank/en-EN>  
Ventilation units  
Compact units

Building assemblies (U-Values)					
1					
ID	Building system	Building assembly	Total thickness	U-Value	Interior insulation
Summary of the constructions calculated in 'U values' worksheet			m	W/(m <sup>2</sup> K)	-
01ud	Parede exterior (PE1.1)	Parede exterior (PE1.1)	0,290	3,448	yes
02ud	Parede exterior (PE1.2)	Parede exterior (PE1.2)	0,690	2,310	yes
03ud	Parede exterior (PE2.1)	Parede exterior (PE2.1)	0,323	0,711	yes
04ud	Parede exterior (PE 2.2)	Parede exterior (PE 2.2)	0,723	0,646	yes
05ud	Parede exterior PE3	Parede exterior PE3	0,490	2,766	yes
06ud	Parede exterior (PE4)	Parede exterior (PE4)	0,300	3,141	yes
07ud	Parede Interior em contacto com o ha	Parede Interior em contacto com o ha	0,190	0,519	no
08ud	Parede Interior em contacto com o ed	Parede Interior em contacto com o ed	0,240	2,761	no
09ud	Parede Interior em contacto com o ed	Parede Interior em contacto com o ed	0,280	0,663	no
10ud	Pavimentos em contacto com o solo	Pavimentos em contacto com o solo	0,388	0,616	no
11ud	Pavimentos em contacto com a fração	Pavimentos em contacto com a fração	0,366	0,425	no
12ud	Laje de cobertura interior em contac	Laje de cobertura interior em contac	0,366	0,452	no

### 3.4.7. “Windows”

#### Windows

##### Descrição

Esta folha contém sumariada a informação relevante e necessária relativa a todos os vãos envidraçados, isto é, a sua orientação; o plano onde se encontram; as suas dimensões; o tipo de vidro e de caixilharia que possuem. Para cada vão envidraçado é especificada a informação referente aos parâmetros em análise. Os fatores de redução são calculados nas folhas “Windows” e “Shading” respetivamente, e estão sumariados no topo na folha “Windows” das colunas “D” a “G. O resultado é o fator de redução obtido na coluna “I”, que é

automaticamente transportado para a folha “Heating”.

Vista

EnerPHit planning:		REDUCTION FACTOR SOLAR RADIATION, WINDOW U-VALUE									
Building		Edifício de habitação e comércio				Annual heating demand:		58		kWh/m²a	
Climate:		[PT] - Porto									
Window area orientation	Global radiation (cardinal points)	Shading	Dirt	Non-perpendicular incident radiation	Glazing fraction	g-Value	Solar irradiation reduction factor	Window area	Window U-Value	Glazing area	Average global radiation
maximum:	kWh/(m²a)	0,75	0,95	0,85				m²	W/(m²K)	m²	kWh/(m²a)
North	87	0,73	0,95	0,85	0,453	0,77	0,27	17,16	2,88	7,77	91
East	219	1,00	0,95	0,85	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	219
South	441	0,81	0,95	0,85	0,412	0,77	0,27	4,03	2,95	1,66	427
West	230	1,00	0,95	0,85	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	230
Horizontal	347	1,00	0,95	0,85	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	347
Total or average value for all windows:						0,77	0,27	21,19	2,89	9,43	

### 3.4.8. “Shading”

#### Shading

A folha de cálculo “Shading” calcula o fator total de sombreamento,  $r_s$ , para as superfícies envidraçadas durante períodos de aquecimento resultante da seguinte equação (Eq.3):

$$r_s = r_H \times r_R \times r_o \times r_{ot} \quad (3)$$

Em que:

- Descrição**
- $r_H$  - fator de obstrução horizontal, obstrução em frente do vão, por exemplo, um conjunto de prédios de altura semelhantes (Figura 7);
  - $r_R$  – fator de obstrução vertical, elementos verticais laterais ao vão;
  - $r_o$  - fator de de obstrução horizontal, elementos horizontais que estão sobre o vão (por exemplo, lajes de varandas);
  - $r_{other}$  – fatores adicionais de sombreamento.

Vista

EnerPHit planning: CALCULATING SHADING FACTORS												
Climate: [PT] - Porto												
Building: Edifício de habitação e comércio												
Latitude: 41,133 °												
				Orientation		Glazing area	Reduction factor winter		Reduction factor summer			
						m²	r <sub>sw</sub>		r <sub>sa</sub>			
				North		7,77	73%		56%			
				East		0,00	100%		100%			
				South		1,66	81%		79%			
				West		0,00	100%		100%			
				Horizontal		0,00	100%		100%			

Quantity	Description	Deviation from North	Angle of inclination from the horizontal	Orientation	Glazing width	Glazing height	Glazing area	Horizon		Reveal		Overhang	
								Height of the shading object	Horizontal distance	Window reveal depth	Distance from glazing edge to reveal	Overhang depth	Distance from upper glazing edge to overhang
								m	m	m	m	m	m
		Degrees	Degrees		w <sub>g</sub>	h <sub>g</sub>	A <sub>g</sub>	h <sub>shad</sub>	d <sub>shad</sub>	Overhang	d <sub>reveal</sub>	d <sub>over</sub>	d <sub>over</sub>
3	VE1.1.1	20	90	North	0,35	0,64	0,7	0,00	0,00	0,22	0,106	0,60	0,80
3	VE1.1.2	20	90	North	0,35	0,64	0,7	0,00	0,00	0,22	0,106	0,60	0,80
3	VE2.1.1	20	90	North	0,35	2,43	2,6	0,00	0,00	0,22	0,091	0,20	0,30
3	VE2.1.2	20	90	North	0,35	2,43	2,6	0,00	0,00	0,22	0,091	0,20	0,30



Figura 7 - Obstrução horizontal  
[Adaptado do manual do PHPP 8]

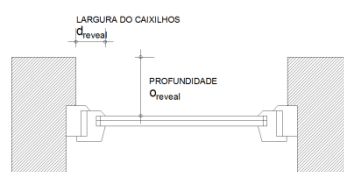


Figura 8 - Obstrução devido ao  
posicionamento de instalação da janela  
[Adaptado do manual do PHPP 8]

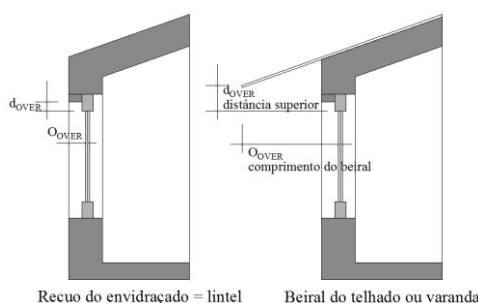


Figura 9 - Obstrução horizontal [Adaptado do manual  
do PHPP 8]

Os fatores de redução de radiação solar  $r_{other,w}$  e  $r_{other,s}$  indicam a percentagem de sombreamento de inverno e verão, devido a árvores, gradeamentos ou outros elementos que não fazem parte do corpo do edifício. As células referentes aos dois fatores podem tomar um valor entre 0 e 100%. Sendo o valor 100% quando não existe qualquer sombreamento e o valor 0% quando o envidraçado é sombreado completamente.

Como as condições de sombreamento influenciam consideravelmente o conforto na estação de arrefecimento, o fator de redução,  $z$ , tem em conta os dispositivos de sombreamento temporários. A célula referente a este fator pode tomar um valor entre 0 a 100% dependendo do tipo de dispositivo e da sua posição relativamente ao envidraçado. A Tabela 3 indica os fatores de redução para vários tipos de dispositivos de proteção solar.

Tabela 3 - Fator de redução para sombreamento temporário com soluções envidraçadas de baixa emissividade [Adaptado do Manual do PHPP 8]

Tipo de dispositivo de sombreamento	Vidro triplo		Vidro duplo	
	Posição exterior	Posição interior	Posição exterior	Posição interior
<b>Persianas com lamelas verticais</b>	0,06	0,7	0,07	0,6
<b>Persianas com lamelas a 45°</b>	0,1	0,75	0,12	0,65
<b>Estores brancos</b>	0,24	0,6	0,25	0,5
<b>Estores cinza</b>	0,12	0,8	0,14	0,75
<b>Painéis opacos</b>	-	0,6	-	0,5

Como os dispositivos de sombreamento na estação de arrefecimento muitas vezes não são utilizados permanentemente, utiliza-se um fator de ativação de 70%, se não existir controlo automático dos dispositivos [Manual do PHPP 8].

O fator de redução a ser introduzido na folha “*Shading*” calcula-se através da equação (Eq.4):

$$z_{effective} = 0,3 + 0,7z \quad (4)$$

Em que:

z – fator de redução da penetração da radiação solar (Tabela 3).

### 3.4.9. “Ventilation”

<b><i>Ventilation</i></b>	
<b>Descrição</b>	Nesta folha é definido o sistema de ventilação, incluindo o sistema de recuperação de calor e rede de tubagens. Os coeficientes de proteção ao vento variam conforme o grau de exposição do edifício. O valor adotado

para a taxa de renovação de ar foi o valor limite de  $1 \text{ h}^{-1}$ . De acordo com a norma DIN 1946-Parte 6, a necessidade de renovação de ar recomendada para cada habitante é de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ . Os caudais de extração de ar recomendados por compartimentação são: cozinha -  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ ; instalação sanitária com duche -  $40 \text{ m}^3/\text{h}$  e instalação sanitária sem duche -  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ .

## Vista

EnerPHit planning: **VENTILATION DATA**

Building: Edifício de habitação e comércio

Treated floor area  $A_{TFA}$   $\text{m}^2$  121 (Areas worksheet)

Room height  $h$   $\text{m}$  2,50

Volume for ventilation ( $A_{TFA} \cdot h$ ) =  $V_V$   $\text{m}^3$  301 (Worksheet Annual heating)

Type of ventilation system

☒ Balanced PH ventilation Please check

☐ Pure extract air

Infiltration air change rate

Wind protection coefficients e and f		
Coefficient e for screening class	Several sides exposed	One side exposed
No screening	0,10	0,03
Moderate screening	0,07	0,02
High screening	0,04	0,01
Coefficient f	15	20

Wind protection coefficient, e For annual demand: 0,10 For heating load: 0,25

Wind protection coefficient, f 15 15

Air change rate at press. test  $n_{50}$  1/h 0,60 0,60

Net air volume for press. test  $V_{50}$   $\text{m}^3$  301

Air permeability  $q_{50}$   $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  0,78

For annual demand: For heating load

Excess extract air 1/h 0,00 0,00

Infiltration air change rate  $n_{V, \text{Rest}}$  1/h 0,060 0,150

Para o cálculo do dimensionamento e escolha do sistema de ventilação com recuperação de calor são impostas três condições:

- $30 \text{ m}^3/(\text{P} \cdot \text{h}) \times \text{n}^\circ \text{ pessoas}$ ;
- $\Sigma$  (caudais de extração);
- $\text{Volume} \times 0,3 \text{ h}^{-1} \times 1,3$  (130%).

Assim, para obter o valor do caudal máximo, primeira condição apresentada, efetua-se a multiplicação entre o caudal de referência, cujo valor é de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  e o número de pessoas que residem na fração. De seguida, para determinar a segunda condição é necessário realizar o somatório dos caudais extraídos nos compartimentos de serviço. A terceira e última condição implica o cálculo do caudal máximo, através da multiplicação do volume do edifício pelo valor de  $0,3 \text{ h}^{-1}$ , número mínimo de renovações por hora, para manter a qualidade do ar interior, majorando 1,3 vezes o valor obtido.



Depois de ter realizado o cálculo do caudal máximo diário, é efetuado o cálculo da taxa média de renovação de ar, onde se considerou que a fração estará lotada durante 24 horas diárias. Para o edifício em estudo é escolhido um sistema de ventilação, com recuperador de calor, que se encontra fora da envolvente térmica.

### 3.4.10. “Additional Vent”

#### *Additional Vent*

**Descrição** Esta folha é concebida como uma extensão da folha de “*Ventilation*”. Nesta podem ser determinadas quantidades de insuflação de ar para usos especiais, em sistema de ventilação adicionais.

#### **Vista**

EnerPHit planning: **EXTENDED DATA INPUT FOR BALANCED VENTILATION**

Planning ventilation systems with multiple ventilation units

Building:

Ventilation unit / Heat recovery efficiency design  
In Ventilation sheet (standard design) ☐ (Ventilation worksheet)  
In Additional Vent sheet (this sheet) ☐ (Additional vent)

Treated floor area  $A_{tr}$    $m^2$  (Atruse worksheet)  
Room height  $h$    $m$  (Worksheet Annual heating)  
Room air volume for ventilation ( $A_{tr} \cdot h$ ) =  $V_v$    $m^3$  (Worksheet Annual heating)  
Number of occupants   $P$  (Ventilation worksheet)  
Room temperature   $^{\circ}C$  (Worksheet Annual heating)  
Average external temp. heating period   $^{\circ}C$  (Ventilation worksheet)  
Average ground temp.   $^{\circ}C$  (Ground worksheet)

Ventilation type  
Balanced PH ventilation ☒ (Ventilation worksheet)  
Pure extract air ☐ (Ventilation worksheet)

Results of ventilation design and unit selection:

Ventilation Unit no.	Description of the unit	Design		Average value / yr.		
		$V_{a,ph}$ $m^3/h$	$V_{ex}$ $m^3/h$	$V_{a,ph}$ $m^3/h$	$V_{ex}$ $m^3/h$	Air ch. rt. $s/h$
1						---
2						---
3						---
4						---
5						---
6						---
7						---
8						---
9						---
10						---

Result for overall vent. syst.

### 3.4.11. “Annual Heating”

#### *Annual Heating*

**Descrição** Esta folha calcula as necessidades de aquecimento, incluindo os ganhos e perdas. Para melhor compreender como se realiza este cálculo, segue-se um esquema do balanço térmico imposto pelo padrão.

EnerPHit planning: **SPECIFIC ANNUAL HEATING DEMAND (annual method)**

Climate: [PT] - Porto Interior temperature: 18,0 °C  
 Building: Edifício de habitação e comércio Building type: Edifício de habitação e com  
 Treated floor area A<sub>TFA</sub>: 120,6 m²

Building assembly	Temperature zone	Area m²	U-Value W/(m²K)	Temp. factor f <sub>t</sub>	G <sub>t</sub> kWh	kWh/a	per m² treated floor area
Exterior wall - Ambient	A	43,5	2,296	1,00	31,2	3116	25,84
Exterior wall - Ground	B			0,61	31,2		
Roof/Ceiling - Ambient	A	49,6	0,452	1,00	31,2	699	5,80
Floor slab / Basement ceiling	B	49,6	0,425	0,61	31,2	402	3,34
	A			1,00			
	A			1,00			
Parede Interior	X	64,3	0,519	0,90	31,2	935	7,76
Windows	A	21,2	2,895	1,00	31,2	1911	15,85
Exterior door	A	2,4	2,761	1,00	31,2	209	1,73
Exterior TB (length/m)	A	140,4	0,050	1,00	31,2	219	1,81
Perimeter TB (length/m)	P	11,5	0,050	0,61	31,2	11	0,09
Ground TB (length/m)	B	7,3	0,050	0,61	31,2	7	0,06
Total of all building envelope areas		230,7					
Transmission heat losses Q <sub>T</sub>						Total	7509
							62,3

Vista

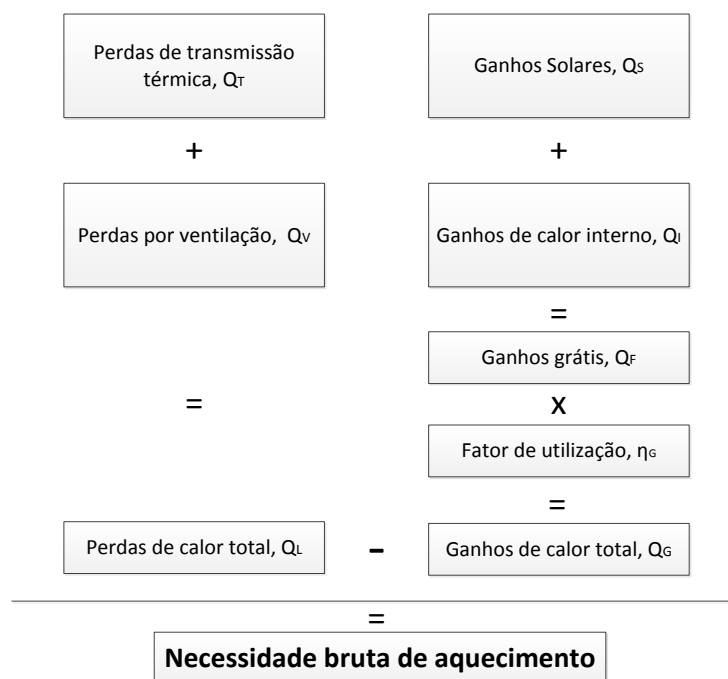


Figura 10 - Diagrama de balanço energético [Adaptado do Manual do PHPP 8]

As perdas de calor anuais são calculadas através das seguintes equações:

Perdas de transmissão térmica:

$$Q_T = A \times U \times f_t \times G_t \quad [\text{kWh/ano}] \quad (5)$$

Em que:

$A$  – área da envolvente térmica [m²];

$U$  – coeficiente de transmissão térmico [W/(m²K)];

$f_t$  – fator de correção da temperatura;

$G_t$  – grau de aquecimento hora [kKh/ano].

Perdas por ventilação:

$$Q_v = V_v \times \eta_v \times c_{air} \times G_t \quad [\text{kWh/ano}] \quad (6)$$

Em que:

$V_v$  – volume ventilado = área útil x pé direito, [m<sup>3</sup>];

$n_v$  – taxa de renovação de ar energeticamente eficiente [W/(m<sup>2</sup>K)];

$c_{air}$  – capacidade calorífica do ar = 0,3 Wh/(m<sup>3</sup>°C);

$G_t$  – grau de aquecimento hora [kKh/ano].

Perdas de calor total:

$$Q_L = Q_T + Q_v \quad [\text{kWh/ano}] \quad (7)$$

Em que:

$Q_T$  – perdas de transmissão térmica [kWh/ano];

$Q_v$  – perdas por ventilação [kWh/ano].

Ganhos de calor

Os ganhos de calor são calculados através das seguintes equações:

Ganhos solares:

$$Q_s = r \times g \times A_f \times G \quad [\text{kWh/ano}] \quad (8)$$

Em que:

$r$  – fator de redução da fração envidraçada devido a sombreamento, sujidade e não-perpendicularidade da radiação incidente;

$g$  – fator solar;

$A_f$  – área bruta do vão envidraçado [ $\text{m}^2$ ];

$G$  – coeficiente da irradiação solar global (dado climático – valor médio do período de aquecimento) [ $\text{kWh/ano}$ ].

Ganhos de calor interno:

$$Q_t = t_{calor} \times q_i \times A_{TFA} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (9)$$

Em que:

$t_{calor}$  – duração a estação de aquecimento [d/a];

$q_i$  – valor médio da carga de produção de calor interno [ $\text{W/m}^2$ ] (ver Tabela 4)

$A_{TFA}$  – área útil [ $\text{m}^2$ ].

Tabela 4 – Média da carga de produção de calor interno [Adaptado do Manual do PHPP 8]

Tipo de edifício	$q_i$ [ $\text{W/m}^2$ ]
<b>Moradias unifamiliares e multifamiliares</b>	2,1
<b>Escolas</b>	2,8
<b>Escritórios e edifícios administrativos</b>	3,5
<b>Edifícios hospitalares</b>	4,1

Ganhos gratuitos:

$$Q_F = Q_s + Q_I \quad [\text{kWh/ano}] \quad (10)$$

$Q_s$  - ganhos solares [ $\text{kWh/ano}$ ];

$Q_I$  - ganhos de calor interno [ $\text{kWh/ano}$ ].

Ganhos de calor total:

$$Q_G = Q_F + \eta_G \quad [\text{kWh/ano}] \quad (11)$$

Em que:

$Q_F$  – ganhos grátis [ $\text{kWh/ano}$ ];

$\eta_G$  – fator de utilização de ganhos.

Necessidade bruta de aquecimento anual:

$$Q_H = Q_L - Q_G \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{ano})] \quad (12)$$

Em que:

$Q_L$  – perdas de calor total  $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{ano})]$ ;

$Q_G$  – ganhos de calor total  $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{ano})]$ .

### 3.4.12. “Heating”

---

**Heating**

---

Esta folha calcula as necessidades anuais de energia para aquecimento

**Descrição** através do método mensal, de acordo com a EN 13790 [Manual do PHPP 8].

---

EnerPHit planning: **SPECIFIC ANNUAL HEATING DEMAND (monthly m**

(This page displays the sums of the monthly method over the heating period)

Climate: [PT] - Porto Interior temperature: 18 °C  
 Building: Edifício de habitação e comércio Building type: Edifício de habitação e comércio  
 Spec. Capacity: 132 Wh/(m²K) Treated floor area A<sub>TFA</sub>: 120,6 m²

Building assembly	Temperature zone	Area m²	U-Value W/(m²K)	Month. red. fac.	G <sub>i</sub> kWh/a	kWh/a	per m² treated floor area
Exterior wall - Ambient	A	43,5	2,296	1,00	42	4187	34,73
Exterior wall - Ground	B			1,00			
Roof/Ceiling - Ambient	A	49,6	0,452	1,00	42	939	7,79
Floor slab / Basement ceiling	B	49,6	0,425	1,00	27	565	4,69
	A			1,00			
	A			1,00			
Parede Interior	X	64,3	0,519	0,90	42	1257	10,42
Windows	A	21,2	2,895	1,00	42	2568	21,30
Exterior door	A	2,4	2,761	1,00	42	281	2,33
Exterior TB (length/m)	A	140,4	0,050	1,00	42	294	2,44
Perimeter TB (length/m)	P	11,5	0,050	1,00	27	15	0,13
Ground TB (length/m)	B	7,3	0,050	1,00	27	10	0,08
Transmission heat losses Q <sub>T</sub>							
							Total
							10117
							83,9

### 3.4.13. “Heating Load”

---

**Heating Load**

---

Calcula a necessidade máxima de aquecimento do edifício. Determina

**Descrição** não só as perdas de calor, mas também os ganhos térmicos de uma forma adequada. Este balanço energético é determinado através dos

---

fluxos de perdas e de ganhos de calor para duas condições meteorológicas diferentes: uma para um dia frio de inverno com uma boa radiação solar e outra para um dia moderadamente frio com o céu nublado e inexistente radiação solar direta. A carga máxima de aquecimento é obtida pelo máximo valor determinado através das duas condições climáticas.

Vista

EnerPHit planning: **SPECIFIC SPACE HEATING LOAD**

Building: Edifício de habitação e comércio										Building type: Edifício de habitação e comércio							
Climate (HL): [PT] - Porto										Treated floor area Area: 120,6 m²		Interior temperature: 18 °C					
Design temperature		Radiation		North	East	South	West	Horizontal									
Weather 1	5,1 °C			19	42	112	48	67 W/m²									
Weather 2	8,5 °C			15	21	45	26	39 W/m²									
Ground design temp																	
Building assembly		Temperature zone		Area		U-Value		Factor		TempDiff 1		TempDiff 2		PT1		PT2	
								always 1				K		W			
								(except "X")									

### 3.4.14. “SummVent”

#### *SummVent*

##### Descrição

Esta folha de cálculo permite a introdução da estratégia de ventilação durante o verão. Nas zonas onde as temperaturas noturnas descem para aproximadamente 20°C, a ventilação noturna natural é suficiente para nivelar o excesso de ar quente de um edifício.

##### Vista

EnerPHit planning: **SUMMER VENTILATION**

Building: Edifício de habitação e comércio	Building type: Edifício de habitação e comércio
Building volume: 301 m <sup>3</sup>	Heat recovery $\eta_{HRV}$ : 0%
Max. indoor absolute humidity: 12 g/kg	Energy recovery $\eta_{ER}$ : 0%
Internal humidity sources: 2 g/(m <sup>2</sup> h)	Subsoil heat exchanger $\eta_{SHE}$ : 0%

<b>Results passive cooling</b> Frequency of overheating: 0.0% at the overheating limit $\theta_{max} = 25$ °C Frequency of exceeded humidity: 0.0% max. humidity: 11.5 g/kg	<b>Results active cooling</b> Useful cooling demand: 0.2 kWh/(m <sup>2</sup> a) Dehumidification demand: 0.1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
--	---

Summer background ventilation to ensure adequate air quality

Air exchange via vent. system with supply air: 1/h	HRV/ERV in summer (check only one field) None automatic bypass, controlled by temperature difference automatic bypass, controlled by enthalpy difference always
Air exchange via extract air system: 1/h	Specific power consumption (for extract air system): Wh/m <sup>3</sup>
Window ventilation air exchange: 0,94 1/h	

### 3.4.15. “Summer”

#### *Summer*

##### Descrição

Esta folha de cálculo faz a estimativa das temperaturas atingidas no interior do edifício na estação de arrefecimento. Quando a frequência de temperatura é superior ao limite de conforto do ar interior, 25°C, em 10% do período convencional de verão, é necessário determinar novas medidas de proteção. É recomendado que a frequência de sobreaquecimento não ultrapasse os 5%, a fim de garantir um bom conforto no verão.

## Vista

EnerPHit planning:

### SUMMER VENTILATION

Building	Edifício de habitação e comércio		Building type	Edifício de habitação e comércio	
Building volume	301	m³	Heat recovery $\eta_{\text{HVR}}$	0%	
Max. indoor absolute humidity	12	g/kg	Energy recovery $\eta_{\text{ER}}$	0%	
Internal humidity sources	2	g/(m²h)	Subsoil heat exchanger $\eta_{\text{SHX}}$	0%	

Results passive cooling			Results active cooling		
Frequency of overheating	0,0%	at the overheating limit $\theta_{\text{max}} = 25$ °C	Useful cooling demand	0,2	kWh/(m²a)
Frequency of exceeded humidity	0,0%		Dehumidification demand	0,1	kWh/(m²a)
max. humidity	11,5	g/kg			

Summer background ventilation to ensure adequate air quality

Air exchange via vent. system with supply air	1/h	HRV/ERV in summer (check only one field)	None
		automatic bypass, controlled by temperature difference	
		automatic bypass, controlled by enthalpy difference	
		always	
Air exchange via extract air system	1/h	Specific power consumption (for extract air system)	Wh/m³
Window ventilation air exchange	0,94	1/h	

## 3.4.16. “Cooling”

### Cooling

## Descrição

Esta folha de cálculo é similar à folha “*Annual Heating Demand*”, que contabiliza as necessidades de arrefecimento. Esta folha indica a necessidade energética necessária para o arrefecimento, incluindo todas os ganhos e as perdas. Nesta folha não é necessário a introdução de dados, uma vez que, estes resultam de folhas anteriormente preenchidas.

## Vista

EnerPHit planning:

### SPECIFIC USEFUL COOLING DEMAND

(This page displays the sums of the monthly method over the cooling period)

Climate	[PT] - Porto		Building type	Edifício de habitação e comércio	
Building	Edifício de habitação e comércio		Treated floor area $A_{\text{TA}}$	120,6	m²
Interior temperature summer	25	°C	Building volume	301	m³
Nominal humidity	12	g/kg	Internal humidity sources	2,0	g/(m²h)
Spec. capacity	132	Wh/(m²K)			

Building assembly	Temperature zone	Area m²	U-Value W/(m²K)	Mon. red. fac.	G, kWh/a	per m² treated floor area
1. Exterior wall - Ambient	A	43,5	2,296	1,00	5844	48,47
2. Exterior wall - Ground	B			1,00		
3. Roof/Ceiling - Ambient	A	49,6	0,452	1,00	1311	10,87
4. Floor slab / Basement ceiling	B	49,6	0,425	1,00	1158	9,60
5.	A			1,00		
6.	A			1,00		
7. Parede Interior	X	64,3	0,519	0,90	1754	14,55
8. Windows	A	21,2	2,895	1,00	3585	29,73
9. Exterior door	A	2,4	2,761	1,00	392	3,25
10. Exterior TB (length/m)	A	140,4	0,050	1,00	410	3,40
11. Perimeter TB (length/m)	P	11,5	0,050	1,00	33	0,28
12. Ground TB (length/m)	B	7,3	0,050	1,00	20	0,17

Transmission losses $Q_T$ (negative: heat loads)		Total	14508	120,3
--	--	-------	-------	-------



### 3.4.17. “Cooling Units”

#### *Cooling Units*

##### Descrição

Esta folha de cálculo determina a energia necessária para o arrefecimento latente (desumidificação). Esta energia pode ser necessária devido ao facto de ser preciso o arrefecimento do ar acompanhado de desumidificação. Podem ainda ser escolhidas três opções, que podem ser adicionadas ao sistema de ventilação: a insuflação de ar arrefecido que passa por arrefecer o ar exterior antes deste entrar nas divisões do edifício; recirculação do ar através do qual o ar é extraído da divisão, é arrefecido e insuflado novamente na divisão; e desumidificação que tem como função a redução da humidade existente no ar, através do arrefecimento do mesmo.

##### Vista

EnerPHit planning:

#### COMPRESSOR COOLING UNITS

Climate:	[PT] - Porto	Building type:	Edifício de habitação e comércio
Building:	Edifício de habitação e comércio	Treated floor area A <sub>FA</sub> :	120,6 m <sup>2</sup>
Interior temperature summer:	25,0 °C	Mechanical cooling:	
Nominal humidity:	12,0 g/kg	Air exchange via ventilation system with supply air:	0,0
Internal humidity sources:	2,0 g/(m <sup>2</sup> h)		

☐ Supply air cooling  
check as appropriate

On/Off mode (check as appropriate)

max. cooling capacity (sensible + latent)

Temperature reduction dry

Seasonal energy efficiency ratio

	kW
	K

### 3.4.18 “Cooling Load”

#### *Cooling Load*

##### Descrição

Esta folha de cálculo é análoga à folha “*Heating Load*”.

Vista

EnerPHit planning:		COOLING LOAD	
Building: Edifício de habitação e comércio		Building type: Edifício de habitação e comércio	
Climate (H): [PT] - Porto		Treated floor area Area: 120,6 m²	
		Building volume: 301 m³	
		Interior temperature: 25 °C	
		Spec. capacity: 132 Wh/(mK)	
		Nominal humidity: 12,0 g/kg	
		Internal humidity sources: 2,0 g/kg	
Temperature: Ambient air		Radiation: North East South West Horizontal	
Weather 1: 22,7 °C		53 167 157 164 282 W/m²	
Weather 2: 22,7 °C		53 167 157 164 282 W/m²	
Ground design temp: 19,4 °C			
		TempDiff 1 TempDiff 2 P1 1 P1 2	
		K K W W	
Building assembly			
1 Exterior wall - Ambient		-23 or -231	
2 Exterior wall - Ground		-56 or -52	
3 Roof/Ceiling - Ambient		-23 or -118	
4 Floor slab / Basement ceiling		-23 or -2	
5		-23 or -142	
6		-23 or -16	
7 Parede Interior		-23 or -16	
8 Windows		-23 or -3	
9 Exterior door		-23 or -2	
10 Exterior TB (length/m)		3.0 or 970	
11 Perimeter TB (length/m)		-23 or 45	
12 Ground TB (length/m)		-23 or -101	
13 House/DU Partition Wall			
14 Radiation correction ambient air			
15 Radiation correction sky			

### 3.4.19. "DHW+Distribution"

#### DHW+Distribution

Descrição

Esta folha de cálculo inclui os dados do sistema de distribuição de águas quentes sanitárias e do sistema de aquecimento. É necessário a identificação e medição da tubagem que se encontra dentro e fora da envolvente térmica, com o intuito de calcular as perdas de calor nos diferentes locais que a tubagem atravessa. A distribuição da tubagem para a água quente sanitária é contabilizada, de modo a distinguir a tubagem que vai do depósito de água quente até às caixas de distribuição e a tubagem de cada dispositivo.

Vista

EnerPHit planning:

Building: Edifício de habitação e comércio

Interior temperature: 18 °C

Building type: Edifício de habitação e comércio

Treated floor area  $A_{\text{treated}}$ : 121 m²

Occupancy: 3,4 Pers

Number of dwelling units: 3

Annual heating demand  $Q_{\text{heat}}$ : 6995 kWh/a

Length of heating period: 148 d

Average heating load  $P_{\text{heat}}$ : 2,0 kW

Marginal utilisability of additional heat gains: 100%

Space heat distribution

Length of distribution pipes  $L_{\text{L}}$  (Pipes/KV)

Heat loss coefficient per m pipe  $\Psi$  (Pipes/KV)

Temp. of the room through which the pipes pass  $\theta_{\text{r}}$  Mechanical/Airbox

Design flow temperature  $\theta_{\text{flow}}$  Flow Design Value

Design system heating load  $P_{\text{heating}}$  (Automatic)

Flow temperature control (check)

Design return temperature  $\theta_{\text{r}}$

Annual heat emission per m of plumbing  $q'_{\text{HL}}$

Possible utilization factor of released heat  $\eta_{\text{p}}$

Annual losses  $Q_{\text{L}}$

Specif. losses  $q_{\text{HL}}$

Performance ratio of heat distribution  $PR_{\text{HL}}$

$= 0,714 \cdot (\theta_{\text{flow}} - 20) + 20$

$= \Psi \cdot (\theta_{\text{r}} - \theta_{\text{r}}) \cdot \text{length} \cdot 0,024$

$= L_{\text{L}} \cdot q'_{\text{HL}} \cdot (1 - \eta_{\text{p}})$

$= \Sigma Q_{\text{HL}} / A_{\text{treated}}$

$= (Q_{\text{L}} + Q_{\text{DHW}}) / Q_{\text{heat}}$

Parts

Warm region 1

Cold region 2

3

Total

69,00

2,00

m

0,173

0,121

W/(mK)

18

12,0

°C

55,0

55,0

°C

5,0

5,0

kW

45,0

45,0

°C

20

16

kWh/(m a)

100%

0%

-

1

33

0

34

kWh/a

kWh/(m²a)

100%

-

0,3

### 3.4.20. “SolarDHW”

#### *SolarDHW*

##### Descrição

Esta folha de cálculo contém as características do sistema do painel solar para a produção de água quente sanitária (AQS). Esta inclui a área do painel, o seu posicionamento e as distâncias, horizontal e vertical, à construção adjacente.

##### Vista

EnerPHit planning: **SOLAR THERMAL SYSTEM**

Building: Edifício de habitação e comércio Building type: Edifício de habitação e comércio  
Treated floor area  $A_{TFA}$ : 120,6 m<sup>2</sup>

Solar fraction

Heating demand DHW	$Q_{G,DHW}$	4166	kWh/a	(DHW+Distribution)
Annual heating demand		7029	kWh/a	(Worksheets Heating & DHW+Distribution)
Heating support (please check, if applicable)				
DHW priority (check if appropriate)				
Latitude:		41,1	°	(Worksheet Climate)
Collector:				
Solar collector area			m <sup>2</sup>	
Deviation from North			°	
Angle of inclination from the horizontal			°	
Height of the collector field			m	
Height of horizon			m	
Horizontal distance			m	
Additional reduction factor shading				
Occupancy		3,4	Persons	
Specific collector area		0,0	m <sup>2</sup> /Pers	

### 3.4.21. “Electricity e Aux Electricity”

#### *Electricity e Aux Electricity*

##### Descrição

Estas folhas de cálculo contêm o cálculo das necessidades de energia elétrica do edifício. A primeira inclui todos os aparelhos elétricos domésticos, onde a localização dos mesmos é mencionada, dentro ou fora da envolvente térmica e o seu consumo de utilização. A segunda folha contabiliza o consumo efetuado por sistemas auxiliares, tais como os sistemas de ventilação.

## Vista

EnerPHit planning: **ELECTRICITY DEMAND**

Building: Edifício de habitação e comércio

Households: 3 HH  
Persons: 3,4 P  
Living area: 121 m²  
Annual heating dem: 58 kWh/(m²a)

Solar fraction of DHW Laundry&Dish: 52%  
Marginal performance ratio DHW: 52%  
Marginal performance ratio Heating: 52%

Column nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	8a	9
Application	Used ? (1/0)	Within the thermal envelope? (1/0)	Norm demand	Utilization factor	Frequency	Reference quantity	Useful energy (kWh/a)	Electric fraction	Non-electric fraction	Electricity demand (kWh/a)
Dishwashing	1	1	1,10 kWh/Use	1,00	65	/(P*a)	246	100%		246
Cold water connection								0%		
Clothes washing	1	1	1,10 kWh/Use	1,00	57	/(P*a)	216	100%		216
Cold water connection								0%		
Clothes drying with:	1	1	0,00 kWh/Use	0,88	57	/(P*a)	0	0%		0
Clothesline			Residual demand: 0,60				0	0%		

### 3.4.22. “Internal Heat Gains”

#### Internal Heat Gains

## Descrição

Os ganhos de calor internos nos edifícios residenciais podem ser calculados utilizando a folha de cálculo “*Internal Heat Gains*”, com base na necessidade de energia elétrica das folhas de cálculo “*Electricity*” and “*Aux Auxiliary*”. O resultado do cálculo pode ser transferido para a folha “*Verification*” e para a das necessidades de aquecimento, selecionando “*PHPP Calculation Residential*”.

## Vista

EnerPHit planning: **INTERNAL HEAT GAINS**

Building: Edifício de habitação e comércio

Utilisation pattern: Dwelling 2,10 W/m²

Type of values used: Standard 2,10 W/m² in summer

Go to utilisation pattern selection

Calculation: Internal heat household

Persons: 3,4 P  
Living area: 121 m²

Heating demand: 58 kWh/(m²a)  
Heating period: 148 dia

Column nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Application	Existing (1/0), or number of people	Within the thermal envelope (1/0)	Norm consumption	Utilization factor	Frequency	Useful energy (kWh/a)	Included in electricity balance?	Availability	Used during time period (kWh)	Internal heat source Winter (W)
Dishwashing	1	1	1,1 kWh/Use	1,00	65	/(P*a)	246	0,30	8,78	8
Clothes washing	1	1	1,1 kWh/Use	1,00	57	/(P*a)	216	0,30	8,78	7
Clothes drying with:	1	1	0,0 kWh/Use	0,88	57	/(P*a)	0	1,00	8,78	0
Clothesline	1	1	0,0 kWh/Use				0	0,80		
Energy consumed by evaporation	1	1	-3,1 kWh/Use	0,60	57	/(P*a)	-369	*(1-0)	1,00	-42

### 3.4.23. “PE value”

<i>PE value</i>	
<b>Descrição</b>	Esta folha de cálculo “ <i>PE value</i> ” apresenta o conjunto de todas as necessidades de energia primária para a área útil. Essas necessidades representam todos os consumos efetuados no edifício, resultando do aquecimento, aquecimento da água quente sanitária, da iluminação e de eletrodomésticos. Após a soma estar concluída a verificação é executada relativamente ao limite máximo de consumo em energia primária imposto pelo padrão <i>EnerPHit</i> (120kWh/(m²ano)).

#### Vista

EnerPHit planning: **PRIMARY ENERGY VALUE**

Building: Edifício de habitação e comércio Building type: Edifício de habitação e comércio

Treated floor area  $A_{TFA}$ : 121 m²

Space heating demand incl. distribution: 58 kWh/(m²a)

Useful cooling demand incl. dehumidification: kWh/(m²a)

	Final energy kWh/(m²a)	Primary energy kWh/(m²a)	Emissions CO <sub>2</sub> -equivalent kg/(m²a)
<b>Electricity demand (without heat pump)</b>			
Covered fraction of space heating demand (Project)		PE Value	CO <sub>2</sub> -emissions factor (CO <sub>2</sub> -equivalent)
Covered fraction of DHW demand (Project)		kWh/kWh	g/kWh
		2,6	680
<b>The ventilation unit is not being considered in the 'Auxiliary electricity' worksheet</b>			
Direct electric heating $Q_{H,de}$	0,0	0,0	0,0
Hot water, direct electric (without DHW wash&dish) $Q_{DHW,de}$ (DHW+Distribution, SolarDHW)	0,0	0,0	0,0
Electric post heating DHW wash&dish (Electricity, SolarDHW)	0,0	0,0	0,0
Electricity demand household appliances $Q_{EHH}$ (Electricity worksheet)	18,2	47,2	12,4
Electricity demand - Auxiliary electricity	0,0	0,0	0,0
<b>Total electricity demand (without heat pump)</b>	<b>18,2</b>	<b>47,2</b>	<b>12,4</b>
<b>Heat pump</b>			
Covered fraction of space heating demand (Project)	100%	PE Value	CO <sub>2</sub> -emissions factor (CO <sub>2</sub> -equivalent)
Covered fraction of DHW demand (Project)	100%	kWh/kWh	g/kWh
		2,6	680

### 3.4.24. “Compact”

<i>Compact</i>	
<b>Descrição</b>	Esta folha de cálculo calcula as necessidades anuais de energia primária para o fornecimento de soluções com bombas de calor compactas que efetuam o aquecimento interior e da água quente sanitária.

Vista

EnerPHit planning: **COMPACT UNIT WITH EXHAUST AIR HEAT PUMP**

Calculation based on measured values of the laboratory evaluation for component certification

Building	Edifício de habitação e comércio	Building type	Edifício de habitação e comércio
Treated floor area $A_{trea}$	121	$m^2$	
Covered fraction of space heating demand	$f_{PE}$ (Value worksheet)	0%	
Space heating demand + distribution losses	$Q_{sh} + Q_{sh,d}$ (DHW+Distribution)	7029	kWh
Solar contribution for space heating	$\eta_{solar, sh}$ (SolarDHW worksheet)	0%	
Effective annual heating demand	$Q_{sh, eff} = Q_{sh} \cdot (1 - \eta_{solar, sh})$	0	kWh
Covered fraction of DHW demand	$f_{PE}$ (Value worksheet)	0%	
Total heating demand of DHW system	$Q_{DHW, tot}$ (DHW+Distribution)	41.66	kWh
Solar contribution for DHW	$\eta_{solar, DHW}$ (SolarDHW worksheet)	0%	
Effective DHW demand	$Q_{DHW, eff} = Q_{DHW, tot} \cdot (1 - \eta_{solar, DHW})$	0	kWh

incl. DHW connection for washing machines & dishwashers

41.66	kWh
0%	
0	kWh







# *Capítulo 4*

---

CASO DE ESTUDO



## **4. Caso de Estudo**

4.1 Descrição do caso de estudo

4.2. Análise energética segundo o REH

4.3. Análise energética segundo o PHPP

4.4. Requisitos mínimos para atingir um edifício *EnerPhit*

4.5. Estudos Complementares



## 4. Caso de Estudo para o Porto

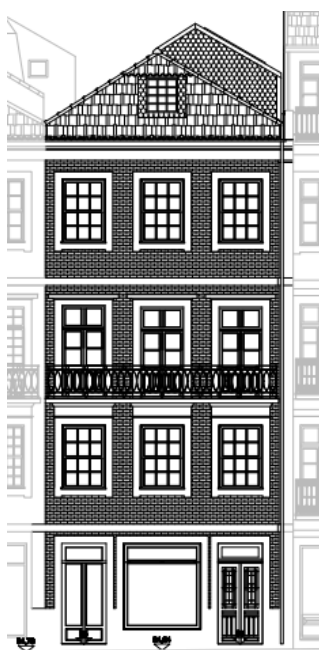
Após a análise e compreensão do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o *software Passive House Planning Package* (PHPP) realizou-se o estudo do edifício localizado no Porto, por forma a verificar os requisitos impostos pelo *EnerPhit*.

Para atingir o objetivo pretendido foram realizados dois estudos. O primeiro corresponde à avaliação energética do edifício, segundo o regulamento REH, através do método simplificado. Para este estudo foram utilizados os dados facultados pelo projetista. O segundo estudo corresponde à avaliação do edifício segundo o PHPP, por forma a atingir os requisitos definidos pelo *EnerPhit*.

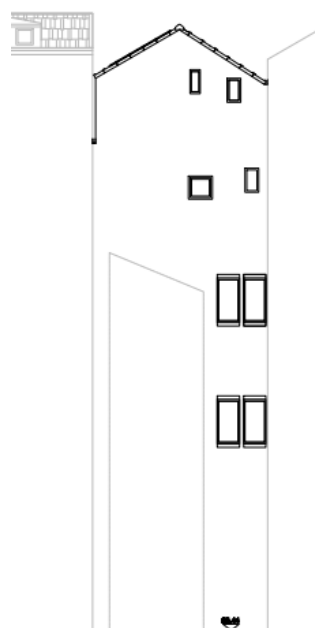
### 4.1. Descrição do caso de estudo

O edifício em estudo para a aplicação dos requisitos *EnerPhit* é um edifício de comércio e habitação, situado a uma altitude de 302 metros na freguesia da Vitória, concelho do Porto, zona climática I<sub>1</sub>-V<sub>2</sub>. Importa referir que o caso de estudo, para a presente dissertação, corresponde apenas ao estudo e cálculo dos três apartamentos do edifício, ou seja, não envolve a fração de comércio.

O edifício é constituído por cave, rés do chão para comércio e quatro andares compostos por três apartamentos de tipologia T0 (Figura 12) e o último andar são águas furtadas destinadas a arrumos. O acesso aos andares superiores é constituído através de hall de circulação comum e caixa de escadas. O edifício encontra-se em contacto lateralmente com dois edifícios adjacentes. As duas fachadas expostas são orientadas a Noroeste e a Sudeste (Figura 11).



Alçado noroeste



Alçado sudeste

Figura 11 - Alçados do caso de estudo



Figura 12 - Planta do piso 1,2 e 3

O edifício apresenta soluções construtivas típicas da região, composta por paredes exteriores de alvenaria de granito, pisos intermédios de madeira, paredes interiores em tijolo e cobertura inclinada de estrutura de madeira e revestimento em telha cerâmica.

As janelas propostas pelo projetista são dotadas de caixilharia de madeira maciça e vidros duplos. A área dos vãos envidraçados corresponde a aproximadamente 7% para cada piso. O sistema de aquecimento e de arrefecimento das frações, segundo o projetista, é efetuado por bomba de calor. Durante a estação de arrefecimento não há necessidade de arrefecer o edifício, devido à grande espessura das paredes. O aquecimento das águas quentes sanitárias é realizado através de termoacumulador, dado que a localização do edifício não está abrangida por rede de gás natural, segundo o projetista. As instalações sanitárias de cada piso possuem extração mecânica, com um caudal de extração de  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  e uma potência de 17,4 W.

#### 4.1.1. Soluções construtivas dos elementos opacos

Os elementos opacos verticais do edifício são constituídos por granito. Alguns elementos construtivos são compostos por uma camada adicional de isolamento térmico. Os elementos construtivos horizontais são compostos por estrutura de madeira com isolamento térmico.

De seguida, apresentam-se as soluções construtivas adotadas para o edifício em estudo, segundo o projetista.

##### **Parede exterior (PE1.1)**

Parede simples de alvenaria com 29 cm de espessura constituída (do interior para o exterior) por material cerâmico com espessura de 2 cm, alvenaria de granito com 25 cm de espessura e reboco tradicional com 2 cm de espessura. Não tem isolamento. O valor do coeficiente de transmissão térmica é de  $3,448 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

**PAREDE EXTERIOR  
(PE1.1)**

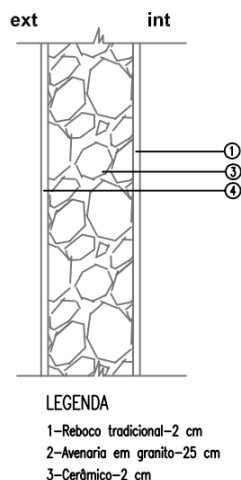


Figura 13 - Parede exterior (PE1.1)

**Parede exterior (PE1.2)**

Parede simples de alvenaria com 69 cm de espessura constituída (do interior para o exterior) por material cerâmico com espessura de 2 cm, alvenaria de granito com 65 cm de espessura e reboco tradicional com 2 cm de espessura. Não tem isolamento. O valor do coeficiente de transmissão térmica é de  $2,310 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

**PAREDE EXTERIOR  
(PE1.2)**

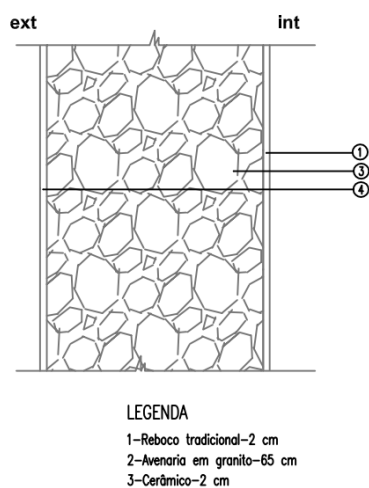


Figura 14 - Parede exterior (PE1.2)



### Parede exterior (PE2.1)

Está situada a Nordeste e é uma parede simples de alvenaria com 31 cm de espessura constituída (do interior para o exterior) por material cerâmico com 2 cm de espessura, alvenaria de granito com 25 cm de espessura, isolamento térmico com 4 cm de espessura e reboco tradicional com 2 cm de espessura. O valor do coeficiente de transmissão térmica é de 0,711 W/(m<sup>2</sup>K).

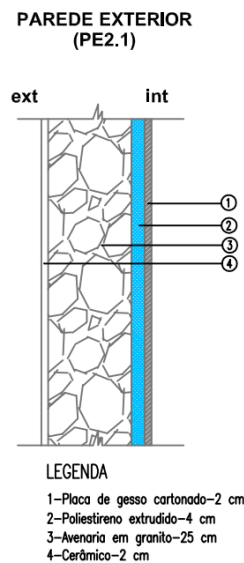


Figura 15 - Parede exterior (PE2.1)

### Parede exterior (PE2.2)

Situada a Noroeste, é uma parede simples de alvenaria com 69 cm de espessura constituída (do interior para o exterior) por material cerâmico com 2 cm de espessura, alvenaria de granito com 65 cm de espessura, isolamento térmico com 4 cm de espessura e reboco tradicional com 2 cm de espessura. O valor do coeficiente de transmissão térmica é de 0,646 W/(m<sup>2</sup>K).

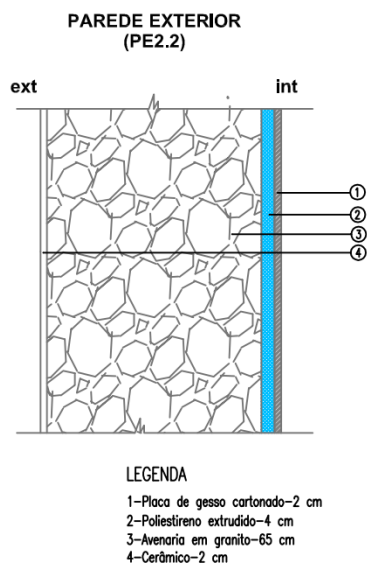


Figura 16 - Parede exterior (PE2.2)

### Parede exterior (PE3)

Situada a Sudeste, esta é uma parede simples de alvenaria com 49 cm de espessura, constituída (do interior para o exterior) por material cerâmico com 2 cm de espessura, alvenaria de granito com 45 cm de espessura e reboco tradicional com 2 cm de espessura. Não tem isolamento. O valor do coeficiente de transmissão térmica é de 2,766 W/(m<sup>2</sup>K).

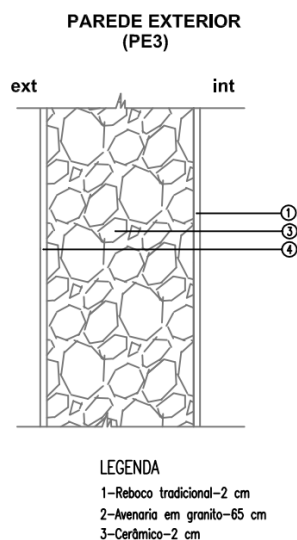


Figura 17 - Parede exterior (PE3)

### Parede exterior (PE4)

Situada a Sudeste, esta é uma parede simples de alvenaria com 30 cm de espessura, constituída (do interior para o exterior) por material cerâmico com 5 cm de espessura, alvenaria de granito com 20 cm de espessura e material cerâmico com 5 cm de espessura. Não tem isolamento. O valor do coeficiente de transmissão térmica é de 3,141 W/(m<sup>2</sup>K).

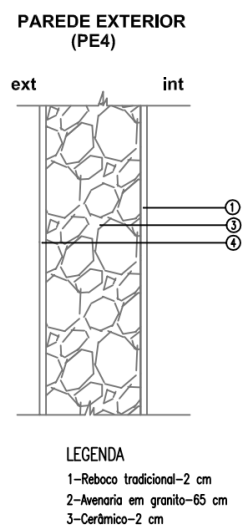
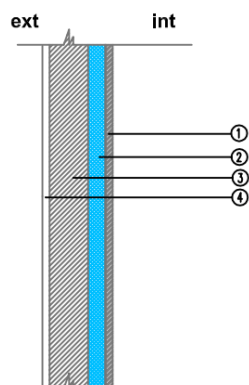


Figura 18 - Parede exterior (PE4)

### Parede interior (PEI1)

Parede simples de alvenaria com 19 cm de espessura constituída (do interior para o exterior) por placa de fibrocimento com fibras celulósicas com 1 cm de espessura, isolamento térmico com 5 cm de espessura, alvenaria de tijolo furado com 11 cm de espessura e reboco tradicional com 2 cm de espessura. O valor do coeficiente de transmissão térmica é de 0,519 W/(m<sup>2</sup>K).

**PAREDE INTERIOR EM CONTACTO COM  
O HALL DE CIRCULAÇÃO COMUM  
(Pi1)**



**LEGENDA**

- 1-Placa de fibrocimento com fibras celulósicas-1 cm
- 2-Poliestireno extrudido-5 cm
- 3-Avenaria de tijolo furado-11 cm
- 4-Reboco-2 cm

Figura 19 - Parede interior (PI1)

### **Pavimento (LI1 e LI2)**

Os pavimentos interiores são constituídos por revestimento cerâmico com espessura de 5 cm, camada de regularização em betão de inertes com 7 cm de espessura, manta em neopreno com 1 cm de espessura, isolamento térmico em poliestireno expandido (XPS) com 3 cm de espessura, manta em neopreno com 1 cm de espessura, painel de lamelas longas (OSB) com 1,8 cm de espessura, estrutura de madeira com 3 cm de espessura, manta em neopreno com 1 cm de espessura, painel de lamelas longas (OSB) com 1,8 cm de espessura, caixa-de-ar com 10 cm de espessura e placa de gesso cartonado com 2 cm de espessura.

**PAVIMENTO DO PISO 1 E**  
**COBERTURA INTERIOR DO PISO 3**  
**(LI1 e LI2)**

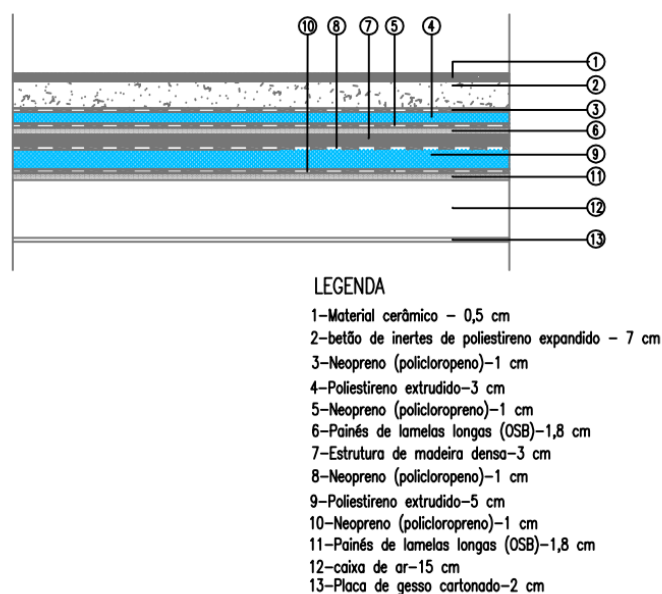


Figura 20 - Pavimento (LI1 e LI2)

#### 4.1.2 Vãos envidraçados e dispositivos de proteção solar

Os envidraçados exteriores são constituídos por caixilharia de madeira fixa, giratória ou de correr. Os vidros são compostos por vidro incolor (4 mm) + caixa-de-ar de 14 mm + vidro incolor (6 mm).

Na Tabela 6 apresentam-se as características dos elementos que compõem os vãos envidraçados e os dispositivos de proteção solar definidos pelo projetista.

Tabela 6 - Vãos e dispositivos de proteção solar

Denominação	U (W/m <sup>2</sup> K)	g <sub>vidro</sub>	g <sub>100%</sub>
Envidraçados da fachada noroeste – caixilharia madeira de giratória / fixa, do tipo Saint-Gobain Climaplust: vidro incolor (4 mm) + caixa-de-ar de 14 mm + vidro incolor (6 mm), com portadas de madeira pelo interior	3,3	0,54	0,35

Denominação	U (W/m <sup>2</sup> K)	g <sub>vidro</sub>	g <sub>100</sub> %
Envidraçados da fachada sudeste – caixilharia madeira de giratória / fixa, do tipo Saint-Gobain Climaplus: vidro incolor (4 mm) + caixa-de-ar de 14 mm + vidro incolor (6 mm), sem dispositivos de proteção solar	3,3	0,54	0,54

#### 4.1.3. Sistema de aquecimento e arrefecimento

Para o sistema de aquecimento e arrefecimento do ar o projetista colocou uma bomba de calor para cada fração, com as caraterísticas apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados técnicos da bomba de calor

<b>SISTEMA DE AQUECIMENTO</b>	Bomba de Calor
<b>Rendimento</b>	3,31
<b>F<sub>pui</sub> (kgep/kWh)</b>	0,29
<b>SISTEMA DE ARREFECIMENTO</b>	Bomba de Calor
<b>EER</b>	2,79
<b>F<sub>pui</sub> (kgep/kWh)</b>	0,29

#### 4.1.4. Águas Quentes Sanitárias

Quanto ao aquecimento de águas quentes sanitárias o projetista definiu um termoacumulador com 10 a 50 mm de isolamento pelo interior. Desta forma, o projetista considerou a instalação de um termoacumulador elétrico com 0,7 rendimento, uma vez que a utilização de esquentador a gás (botija) e consequente conduta de ventilação não seria possível devido à reduzida área disponível para a instalação destes dispositivos.

#### 4.1.5. Sistemas de coletores solares

O projetista não considera painéis solares, uma vez que o edifício em estudo está inserido numa zona do centro da cidade do Porto, e a vertente da cobertura virada a sul é completamente sombreada pelo edifício adjacente.

#### 4.1.6. Ventilação

Todas as instalações sanitárias de cada piso possuirão extração mecânica, que as mantenha em depressão em relação aos espaços adjacentes. Os sistemas de extração que servem estes espaços são totalmente independentes dos demais sistemas de ventilação. Segundo o projetista, foi considerada uma potência de 17,4 W para cada ventilador e um caudal de extração de 50 m<sup>3</sup>/h.

### 4.2. Análise energética segundo o REH

Para verificar se o edifício se encontra regulamentado pelo REH, foi realizado o estudo do edifício considerando o algoritmo de cálculo do regulamento térmico nacional.

#### 4.2.1. Verificação de requisitos mínimos da envolvente

Verificou-se que nenhum elemento opaco do edifício cumpre os requisitos impostos segundo os dados do projetista (Tabela 8). Por se tratar de uma reabilitação, o projetista ficou condicionado ao uso de maiores espessuras de isolamento para atingir valores de coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ) mais satisfatórios, porque esse aumento traduz-se na diminuição da área útil dos apartamentos.

Tabela 8 - Verificação dos requisitos mínimos segundo o REH

ENVOLVENTE OPACA			
Elemento	$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	$U_{\text{máx}}$ segundo o REH (W/m <sup>2</sup> K)	Verificação segundo o REH
Parede exterior – PE3	2,77	0,4	KO
Parede exterior – PE4	3,14	0,4	KO
Parede interior em contacto com o hall de circulação comum – PI1	0,52	0,4	KO
Parede interior em contacto com o edifício adjacente – PI2	2,76	0,8	KO
Pavimento em contacto com a fração de serviços – LI1	0,43	0,35	KO

Relativamente aos envidraçados pode ver-se na Tabela 9 que os envidraçados da fachada sudeste não verificam os requisitos máximos de fator solar segundo o REH.

Tabela 9 - Verificação dos requisitos mínimos dos envidraçados segundo o REH

Elemento	g [-]	g [máximo] segundo o REH	Verificação segundo o REH
Envidraçados da fachada noroeste – caixilharia madeira de giratória / fixa, do tipo Saint-Gobain Climaplust: vidro incolor (4 mm) + caixa-de-ar de 14 mm + vidro incolor (6 mm), com portadas de madeira pelo interior	0,35	0,4	OK
Envidraçados da fachada sudeste – caixilharia madeira de giratória / fixa, do tipo Saint-Gobain Climaplust: vidro incolor (4 mm) + caixa-de-ar de 14 mm + vidro incolor (6 mm), sem dispositivos de proteção solar	0,54	0,4	KO

#### 4.2.2. Resultados do balanço energético

Na Tabela 10 apresentam-se os resultados obtidos segundo o algoritmo de cálculo de balanço térmico do REH, as verificações dos requisitos e a consequente classificação energética. Verifica-se que o edifício não cumpre os requisitos de necessidade de energia para aquecimento e de energia primária, impostos pelo REH. Para cumprir tais requisitos é necessário o aumento da espessura de isolamento da envolvente exterior e utilização de envidraçados mais eficientes.



Tabela 10 - Necessidades energéticas anuais segundo o REH

$N_{ic}$	187,7 kWh/(m <sup>2</sup> ano)
$N_i$	78,3 kWh/(m <sup>2</sup> ano)
$N_{ic} > N_i$	
$N_{vc}$	4,7 kWh/(m <sup>2</sup> ano)
$N_v$	9,1 kWh/(m <sup>2</sup> ano)
$N_{vc} \leq N_v$	
$Q_a / A_p$	26,62 kWh/(m <sup>2</sup> ano)
$Q_a / A_{p\ ref}$	29,58 kWh/(m <sup>2</sup> ano)
$Q_a / A_p \leq Q_a / A_{p\ ref}$	
$N_{tc}$	211,79 kWh/(m <sup>2</sup> ano)
$N_t$	147,18 kWh/(m <sup>2</sup> ano)
$N_{tc} > N_t$	
<b>Classificação energética</b>	
<b>C</b>	

### 4.3 Análise energética segundo o PHPP

Neste ponto, pretende-se utilizar as soluções construtivas originais definidas pelo projetista e calcular os valores das necessidades nominais anuais do edifício, através da folha de cálculo PHPP. Foram efetuados estudos para se determinar as soluções construtivas ótimas que verifiquem o padrão *EnerPhit*. Para se atingir a solução ótima foi necessário aumentar as espessuras de isolamento térmico, a colocação de painéis solares e melhorar os envidraçados.

#### 4.3.1. Soluções construtivas

Através da folha de cálculo PHPP introduziram-se os dados do projetista, de forma a aferir quais as necessidades nominais anuais que o edifício em estudo apresenta. Na folha de cálculo do REH considerou-se apenas o cálculo de uma fração, no entanto, na folha de cálculo PHPP foi considerado as três frações, como se pode observar com a Figura 21. É necessário ainda referir que para este estudo não foi considerado nenhum sistema de arrefecimento, uma vez que para a cidade do Porto a taxa de sobreaquecimento é nula, como se poderá verificar mais adiante.

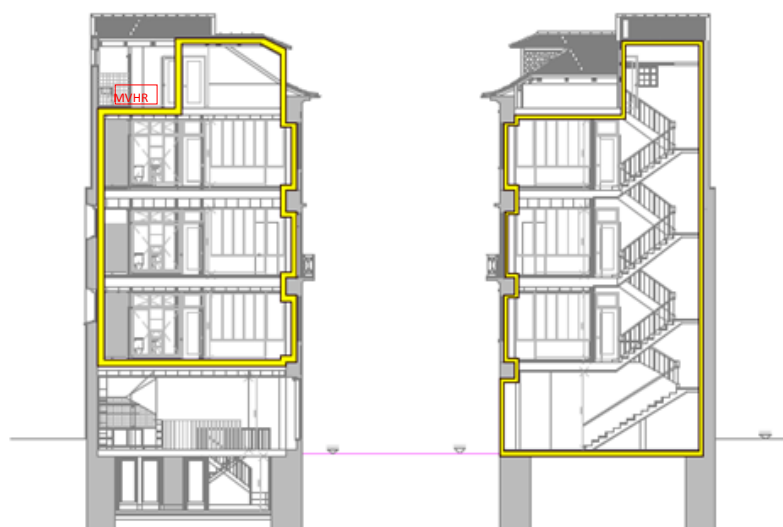


Figura 21 - Envolvente térmica do edifício

#### 4.3.1.1. Soluções construtivas de envolvente opaca e translúcida

Os envidraçados são compostos por vidro duplo, cujo valor de coeficiente de transmissão térmica do vidro ( $U_{vidro}$ ) é de  $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , o fator solar do vidro,  $0,77$  e o coeficiente de transmissão térmica da caixilharia ( $U_{caixilharia}$ ) é de  $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Os dados apresentados anteriormente são um pouco diferentes dos expostos na folha de cálculo do REH. Na folha de cálculo PHPP foram selecionados componentes das listas preexistentes, relativamente à caixilharia e envidraçado, escolhendo o mais adequado.

Na Tabela 11 apresentam-se os dados utilizados no cálculo do balanço térmico de acordo com o algoritmo de cálculo PHPP.

Tabela 11 - Soluções iniciais do edifício para o Porto

<b>Parede PE1.1: U; espessura de isolamento</b>	$3,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; Não tem
<b>Parede PE1.2: U; espessura de isolamento</b>	$2,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; Não tem
<b>Parede PE2.1: U; espessura de isolamento</b>	$0,71 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; 4 cm
<b>Parede PE2.2: U; espessura de isolamento</b>	$0,65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; 4 cm
<b>Parede PE3: U; espessura de isolamento</b>	$2,77 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; Não tem
<b>Parede PE4: U; espessura de isolamento</b>	$3,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; Não tem
<b>Parede PI1: U; espessura de isolamento</b>	$0,52 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; 5 cm
<b>Parede PI2: U; espessura de isolamento</b>	$2,76 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; Não tem
<b>Parede PI3: U; espessura de isolamento</b>	$0,66 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; 4 cm
<b>Pavimento LI1: U; espessura de isolamento</b>	$0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; 3 cm
<b>Laje de cobertura LI2: U; espessura de isolamento</b>	$0,452 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; 3cm
<b><math>U_{caixilharia}</math></b>	$2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

#### 4.3.1.2. Sistemas de climatização e ventilação

O projetista definiu uma bomba de calor por cada fração, no entanto, como foi referido anteriormente, com a folha de cálculo PHPP considerou-se uma bomba de calor para as três frações (Figura 21), visto que cada fração tem uma área pequena, aproximadamente  $40 \text{ m}^2$ .

#### 4.3.1.3. Pontes Térmicas Lineares

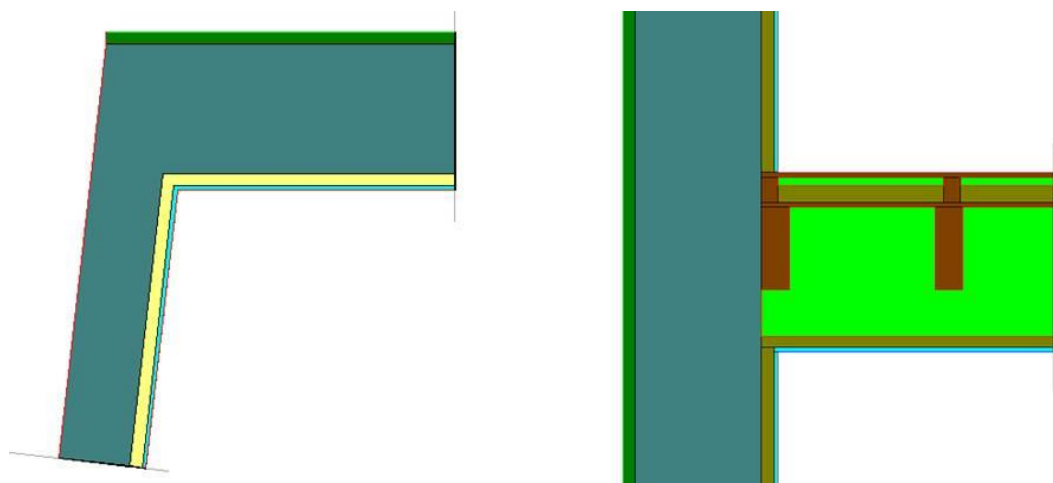
As pontes térmicas lineares num edifício representam grande parte das perdas de energia pela envolvente, portanto na reabilitação do edifício é necessário ter em conta a otimização das ligações construtivas para eliminar ou minimizar as pontes térmicas.

Por se tratar de um edifício com paredes de grande espessura (grande resistência térmica) foi realizado um estudo de duas ligações construtivas, mais representativas do edifício, para verificar a importância das pontes térmica no edifício. Através do programa THERM<sup>®3</sup> simularam-se as duas ligações construtivas do edifício em estudo (Figura 22). Através do cálculo do coeficiente de transmissão térmica linear ( $\psi$ ) das duas ligações verificou-se que em ambas as situações o valor de  $\psi$  é nulo. No entanto, dadas não terem sido modeladas todas as ligações construtivas considerou-se um valor conservativo de  $\psi = 0,05$  em todas as ligações existentes no edifício. Conclui-se que a grande espessura dos materiais e a continuidade dos mesmos garante que não existe alteração na geometria da ligação, que provocaria o aumento da transferência de energia.

Na Figura 22 estão representadas as ligações construtivas de um cunhal e da ligação de parede exterior com o pavimento intermédio.

---

<sup>3</sup> THERM<sup>®</sup> - *software* desenvolvido no Laboratório Nacional Lawrence Berkeley (LBNL) para uso dos fabricantes de materiais de construção.



Ligação construtiva de um cunhal

Ligação de parede exterior com o pavimento intermédio

Figura 22 - Pormenores das pontes térmicas

#### 4.3.2. Análise dos resultados

Na Tabela 12 apresentam-se os resultados obtidos segundo o balanço térmico do PHPP, para temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Embora o requisito de temperatura de conforto interior, segundo o padrão *EnerPhit*, seja 20°C, foi efetuado também o balanço térmico para a temperatura de conforto de 18°C. Esta opção prende-se com o facto de o REH definir como requisito de temperatura de conforto interior de 18°C, assim pode fazer-se uma análise comparativa dos resultados obtidos (Figura 23). Para se atingir um edifício com requisitos *EnerPhit* é necessário preencher o requisito imposto pelo *EnerPhit* correspondente às necessidades nominais de energia. Como se pode ver na Tabela 12 o edifício projetado pelo projetista não cumpre os requisitos impostos pelo *EnerPhit*, uma vez que, as necessidades de aquecimento anual ultrapassam o valor limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano), para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. A necessidade de energia primária, para uma temperatura de conforto interior de 18°C, cumpre o limite do padrão, sendo o valor limite de 172 kWh/(m<sup>2</sup>ano). No entanto, para uma temperatura de conforto interior de 20°C, o limite é ultrapassado, sendo este de 206 kWh/(m<sup>2</sup>ano).

Tabela 12 - Necessidades nominais anuais originais do edifício do Porto

	$T_{\text{int}} = 18^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$
<b>Necessidades de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>a)]</b>	58	87
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	31	42
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>a)]</b>	172	212
<b>Taxa de sobreaquecimento (%)</b>	0	0

A Figura 23 apresenta as necessidades nominais anuais do edifício original com os valores expostos na Tabela 12. Existe uma diferença visível das necessidades nominais anuais comparativamente à temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C, ou seja, a exigência do conforto térmico do padrão *EnerPhit* é maior do que a do REH.

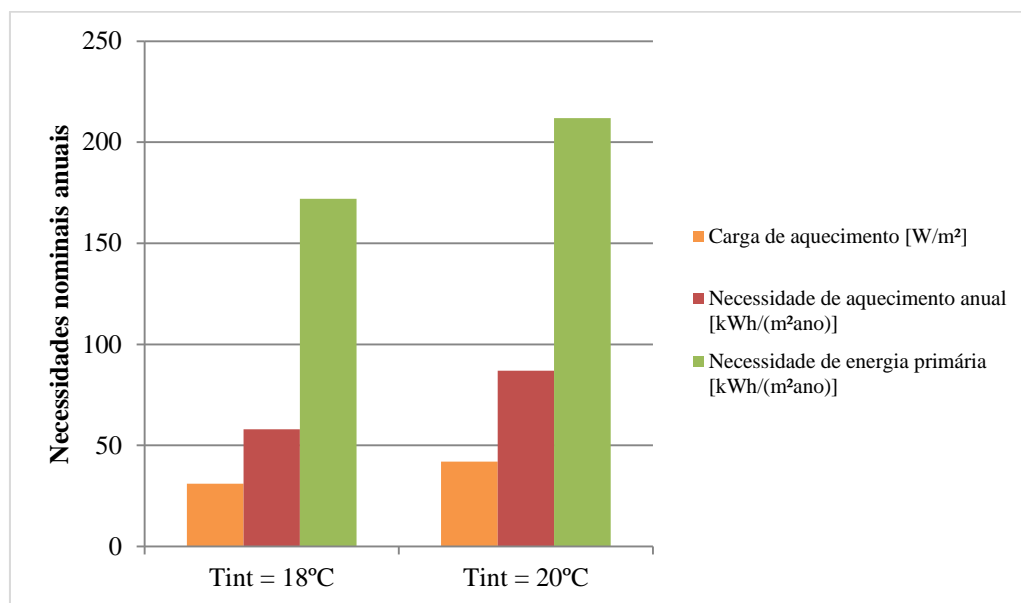


Figura 23 - Necessidades nominais anuais do edifício no Porto

#### 4.4. Requisitos mínimos para atingir um edifício *EnerPhit*

##### 4.4.1. Sistema de ventilação mecânica

Para a ventilação foi implementado um sistema de ventilação com recuperador de calor, do tipo *Compact Heat Pump System*, com eficiência de 80% (ver Anexo B). O equipamento de ventilação fica localizado fora da envolvente térmica, como se pode observar na Figura

21. O sistema de ventilação funciona através da extração do ar na cozinha e nas instalações sanitárias e a insuflação é feita na sala. Utilizou-se tubagem de extração e de insuflação do ar com 14 mm de diâmetro e 20 mm de espessura de isolamento dentro da envolvente térmica e fora da envolvente térmica, utilizou-se tubagem de extração e de insuflação do ar com 14 mm de diâmetro e 50 mm de espessura de isolamento. A tubagem da ventilação está localizada dentro da envolvente térmica do edifício excetuando-se parte da tubagem que se insere no espaço onde se localiza o equipamento de ventilação.

Na Figura 24 apresenta-se o traçado da rede de ventilação de uma fração representativa do edifício, onde se pode ver a localização das bocas de extração e insuflação, bem como a respetiva tubagem. O equipamento de ventilação encontra-se no último piso que se destina a arrumos.

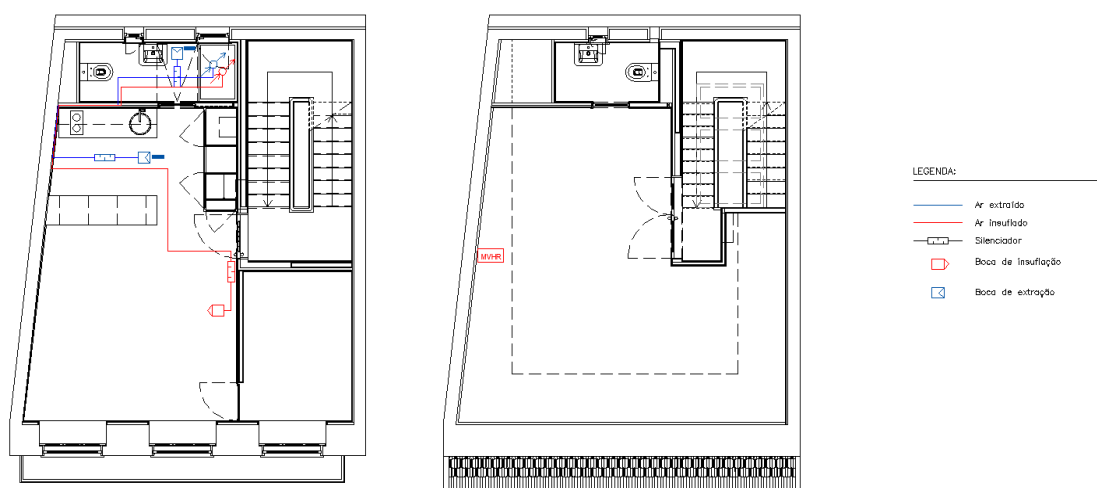


Figura 24 - Traçado da rede de ventilação

#### 4.4.2. Otimização de soluções construtivas da envolvente translúcida

Para poder atingir os requisitos do padrão *EnerPhit* foi necessário escolher um sistema de envidraçado com caraterísticas mais vantajosas. O envidraçado selecionado para este caso de estudo é certificado pela *Passive House*, cujo fabricante é a Cruz & Oliveira. Este envidraçado apresenta um valor de coeficiente de transmissão térmica do vidro ( $U_{\text{vidro}}$ ) de 0,65 W/(m<sup>2</sup>K), o fator solar do vidro, 0,6 e o coeficiente de transmissão térmica da

caixilharia ( $U_{caixilharia}$ ) de 0,83 W/(m<sup>2</sup>K). No Anexo C encontra-se a certificação desta solução construtiva.

#### 4.4.3. Otimização de soluções construtivas com isolamento térmico (XPS)

Para atingir os requisitos impostos pelo *EnerPhit* foram otimizadas soluções construtivas com a aplicação de isolamento térmico XPS.

Foram realizadas três soluções construtivas, que correspondem ao aumento da espessura de isolamento, que varia entre a aplicação de 5 cm de isolamento nas paredes e 10 cm nos pavimentos, 10 cm de isolamento nas paredes e nos pavimentos, e 5 cm de isolamento nas paredes e nos pavimentos. Também foi alterado relativamente à aplicação de painéis solares e ao envidraçado, variando entre vidro duplo e triplo, e sistema de ventilação com recuperador de calor.

Na Tabela 13 apresentam-se os resultados obtidos das soluções construtivas otimizadas.

Tabela 13 - Soluções construtivas para o Porto

<b>Soluções Construtivas</b>	<b>Painéis Solares</b>	<b>Espessura das paredes (cm)</b>	<b>Espessura dos pavimentos (cm)</b>	<b>Vidro Duplo</b>	<b>Vidro Triplo</b>
<b>1</b>	Sim	5	10	Sim	-
<b>2</b>	Sim	10	10	Sim	-
<b>3</b>	Sim	5	5	-	Sim

#### 4.4.4. Análise de resultados

Na Figura 25 apresenta-se a análise da necessidade de aquecimento anual. Pode verificar-se que para a temperatura de conforto interior de 18°C, todas as soluções construtivas respeitam o limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano). No entanto, para uma temperatura de conforto interior de 20°C, apenas a solução 2 respeita o limite da necessidade de aquecimento anual. Esta solução apresenta o valor de 24 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Esta é a que necessita de menos energia para atingir uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C.

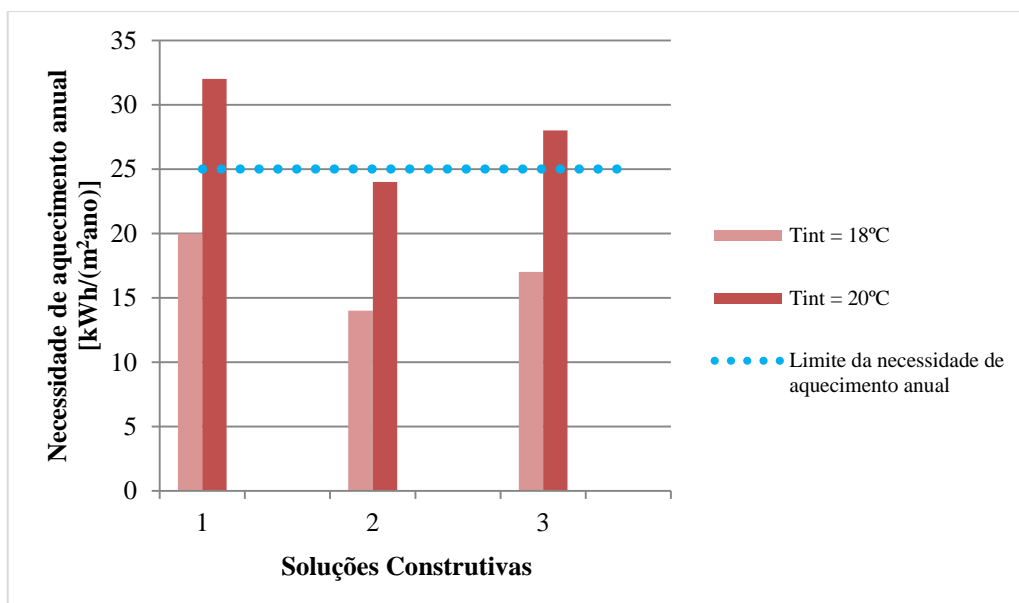


Figura 25 - Necessidade de aquecimento anual para o Porto

A Figura 26 representa a análise da carga de aquecimento. Esta revela que a solução 2 é a que apresenta valores de carga de aquecimento menores, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Verifica-se que quanto maior é a necessidade de aquecimento anual, maior será a carga de aquecimento.

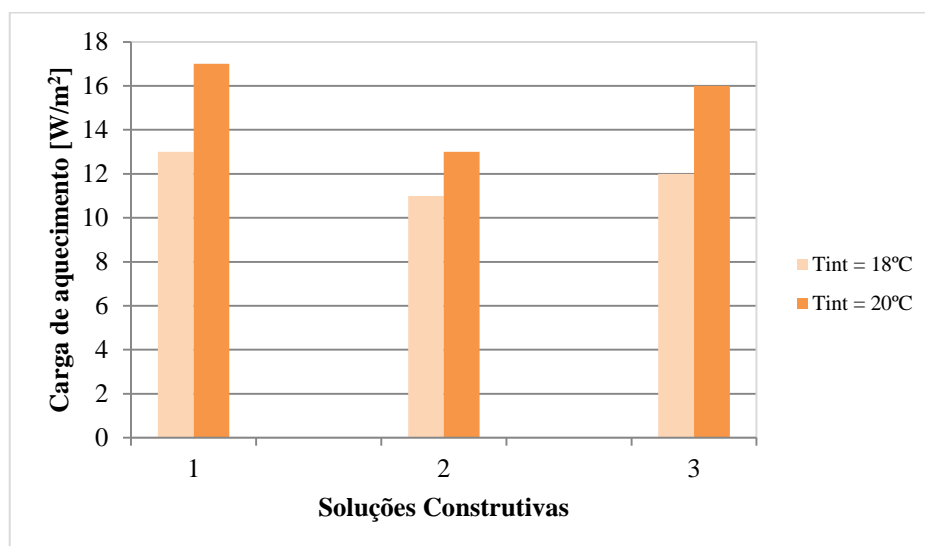


Figura 26 - Carga de aquecimento para o Porto

A Figura 27 corresponde à análise da necessidade de energia primária. Pode observar-se que o limite da necessidade de energia primária calculado através da equação (1) da secção



3.3, não é ultrapassado por nenhuma solução construtiva, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e de 20°C.

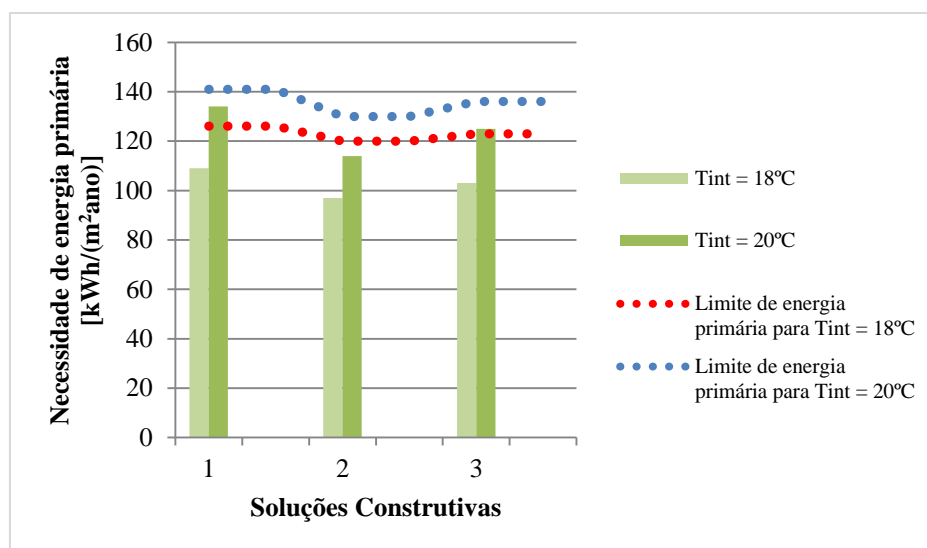


Figura 27 - Necessidade de energia primária para o Porto

Na Tabela 14 apresenta-se o resumo dos resultados obtidos resultantes da aplicação da solução 2, visto que é a única que satisfaz os requisitos do padrão *EnerPhit*, para as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Através da solução 2 foi possível atingir-se um edifício de baixo consumo de energia.

Tabela 14 - Requisitos do edifício para o Porto

	$T_{int} = 18^{\circ}\text{C}$	$T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m²ano)]</b>	14	24
<b>Carga de aquecimento [W/m²]</b>	11	13
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m²ano)]</b>	97	104
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	0	0

#### 4.5. Estudos complementares

Embora os cenários estudados anteriormente permitam cumprir os requisitos *EnerPhit*, o aumento da espessura de isolamento térmico pelo interior (XPS) das soluções construtivas leva à redução do espaço interior dos apartamentos, isto é, a área dos três apartamentos de tipologia T0 irá diminuir significativamente. Sendo o isolamento térmico uma das medidas mais favoráveis para a melhoria do desempenho energético na reabilitação dos edifícios,

foram estudados outros cenários, por forma a garantir os requisitos impostos pelo padrão sem interferir significativamente com a área útil dos apartamentos.

Atualmente, existem vários tipos de isolamento no mercado com elevado desempenho térmico e espessura reduzida. Por se tratar de uma reabilitação e sendo a redução da área útil, um dos problemas associados à otimização energética através de isolamento térmico colocado no interior, foi adotado para o caso de estudo painéis de isolamento a vácuo (VIP – *Vaccum Insulated Painel*), cujas características térmicas apresentam condutibilidade térmica extremamente baixa. Os VIP são constituídos por uma placa de fibra de vidro e uma película laminada com papel de alumínio. Estes painéis têm resistência térmica que poderá ser cerca 10 vezes maior, comparando com isolamento de poliestireno (Fricke, et al., 2007). A condutividade térmica equivalente destes painéis é de 0,007 W/(mK).

#### 4.5.1. Soluções construtivas com isolamento térmico (VIP)

Para estudar o comportamento do edifício com a utilização de isolamento térmico VIP, foram definidos quatro cenários para os elementos opacos do edifício (Tabela 15). As soluções otimizadas correspondem à aplicação de isolamento térmico VIP, variando entre 1 cm a 1,5 cm nas paredes e nos pavimento. Adicionalmente foi definido um sistema de painéis solares e novos envidraçados (vidros duplos ou triplos).

Tabela 15 - Soluções construtivas para o Porto

<b>Soluções Construtivas</b>	<b>Painéis Solares</b>	<b>Espessura das paredes (cm)</b>	<b>Espessura do pavimento (cm)</b>	<b>Vidro Duplo</b>	<b>Vidro Triplo</b>
<b>A</b>	Sim	1	1	Sim	-
<b>B</b>	Sim	1,5	1,5	Sim	-
<b>C</b>	Sim	1	1	-	Sim
<b>D</b>	Sim	1,5	1,5	-	Sim

#### 4.5.2. Análise de resultados segundo o PHPP

Para verificar qual a solução construtiva que melhores resultados apresenta face aos limites do padrão *EnerPhit* foi realizada uma análise das necessidades nominais para o edifício no Porto.

Na Figura 28 apresenta-se a análise da necessidade de aquecimento anual. Verifica-se que para a temperatura de conforto interior de 18°C, todas as soluções respeitam o limite do padrão *EnerPhit*, sendo o valor mais elevado de 22 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Para uma temperatura de conforto interior de 20°C, apenas a solução D não ultrapassa o limite, apresentando o valor de 19 kWh/(m<sup>2</sup>ano).

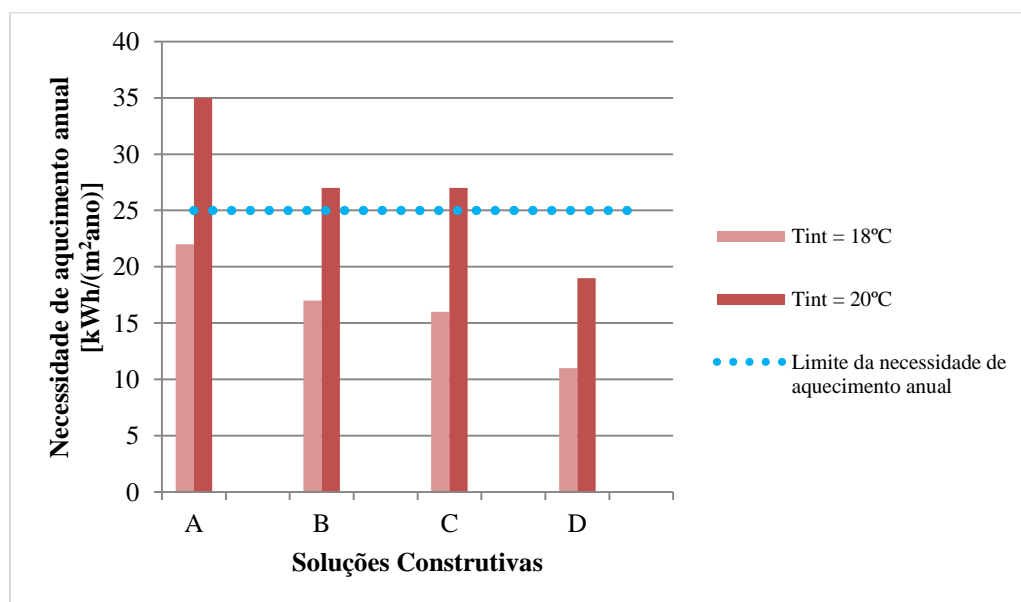


Figura 28 - Necessidade de aquecimento anual para o Porto

A Figura 29 corresponde à análise da carga de aquecimento. Pode observar-se que as soluções B e C têm exatamente o mesmo valor, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, tal como acontece com a necessidade de aquecimento anual. A solução D é a que apresenta uma carga de aquecimento menor, 10 W/m<sup>2</sup>, para uma temperatura de conforto interior de 18°C, e 12 W/m<sup>2</sup>, para uma temperatura de conforto interior de 20°C.

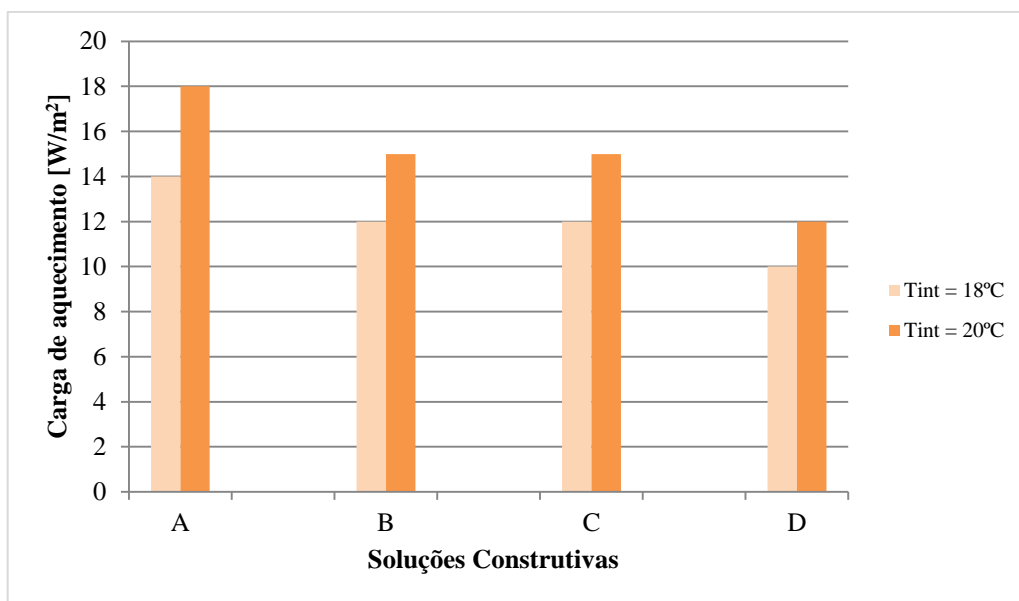


Figura 29 - Carga de aquecimento para o Porto

Na Figura 30 apresenta-se a análise da necessidade de energia primária. Pode constatar-se que nenhuma solução construtiva ultrapassa o valor da necessidade de energia primária, calculada através da equação (1) da secção 3.3., para uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C, ou seja, estas soluções construtivas respeitam o limite imposto pelo padrão *EnerPhit*. A solução D é a que apresenta valores mais baixos.

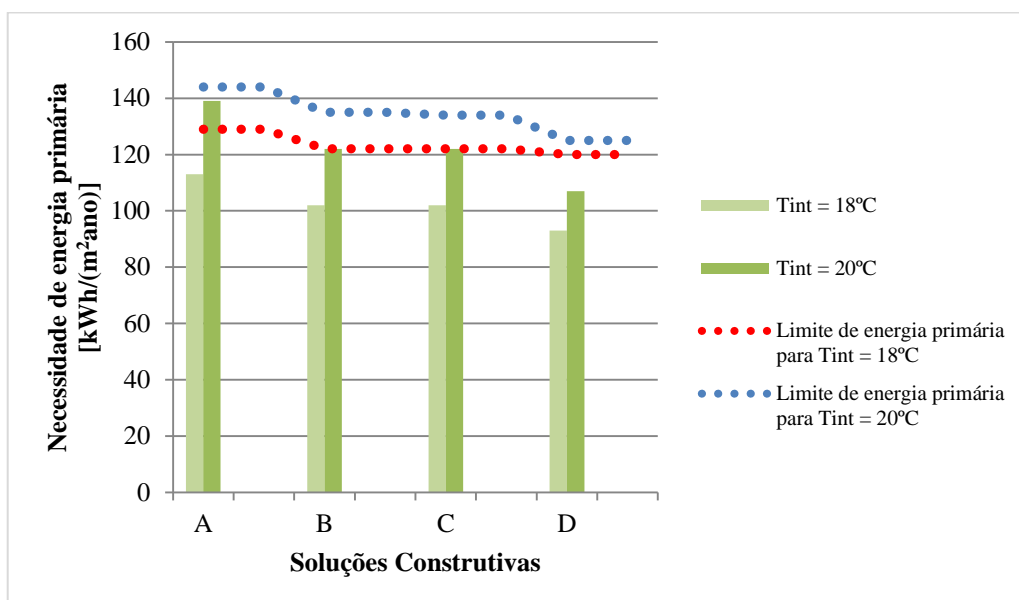


Figura 30 - Necessidade de energia primária para o Porto

Na Tabela 16 apresenta-se o resumo dos resultados obtidos resultante da aplicação da solução D, visto que é a única que satisfaz os requisitos do padrão *EnerPhit* para as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Através dessa solução construtiva foi possível atingir um edifício de baixo consumo na energia.

Tabela 16 - Requisitos para o edifício do Porto

	$T_{int} = 18^{\circ}\text{C}$	$T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	11	19
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	10	12
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	93	107
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	0	0

Pode verificar-se que a aplicação do painel de isolamento a vácuo, a espessura das paredes é bastante reduzida, passando de 10 cm de isolamento XPS a 1,5 cm com isolamento VIP. Com este tipo de isolamento a área interior útil de cada apartamento não é influenciada significativamente quando comparado com a utilização do isolamento tradicional.

As Figuras 31 e 32 representam o balanço energético da envolvente térmica onde existem perdas e ganhos energéticos do edifício *EnerPhit* para a cidade do Porto. A Figura 31 representa o balanço energético do edifício com as soluções construtivas definidas pelo projetista. Através das Figuras 31 e 32 é possível verificar quais os elementos do edifício que devem ser alterados para que o edifício respeite o padrão *EnerPhit*. As paredes exteriores e os vãos envidraçados são os elementos da envolvente que proporcionam mais perdas, com valores de 31,7 kWh/(m<sup>2</sup>ano) e 19,5 kWh/(m<sup>2</sup>ano), respetivamente. Também é importante ter em conta a orientação do edifício, uma vez que se o edifício tivesse orientado a sul, os ganhos solares seriam maiores. A Figura 32 representa o balanço energético do edifício com a solução construtiva correspondente à aplicação de 1,5 cm de VIP e envidraçado triplo. Através da comparação entre a Figura 31 e 32, verifica-se que as perdas pelas paredes exteriores e vãos envidraçados é bastante menor, existindo uma diminuição de 26 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para as paredes exteriores e de 13 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para envidraçados.

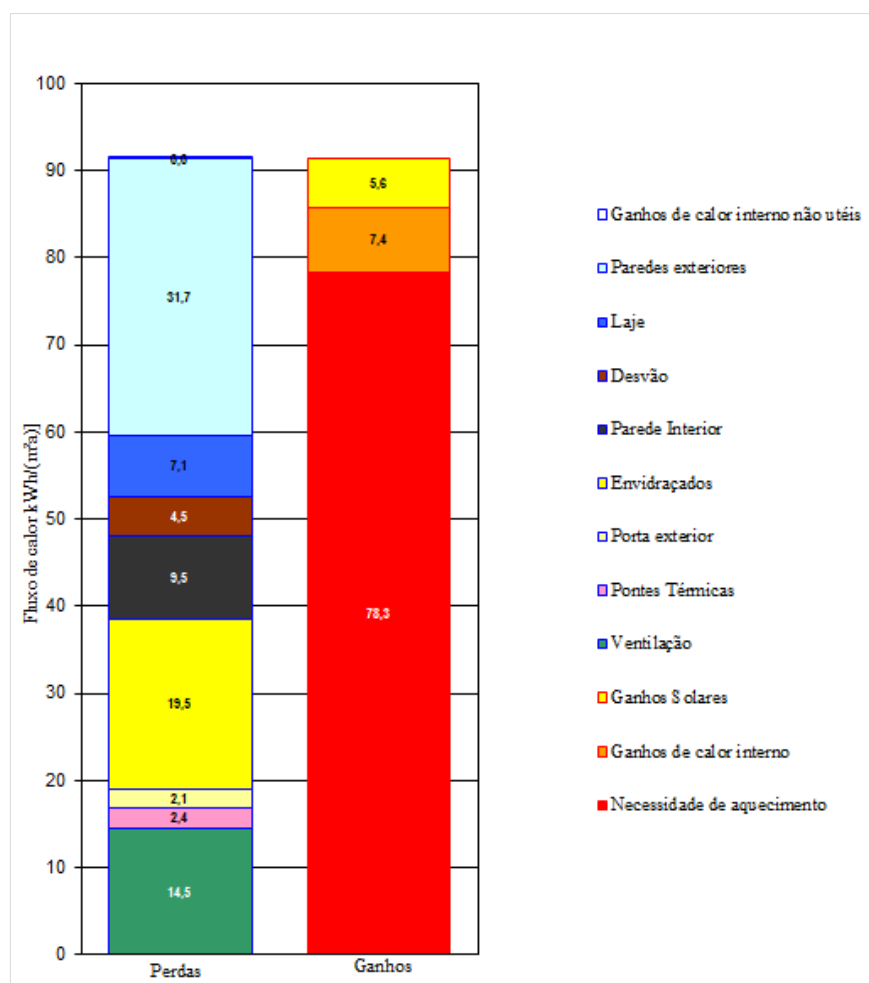


Figura 31 - Balanço energético do edifício com as soluções construtivas originais

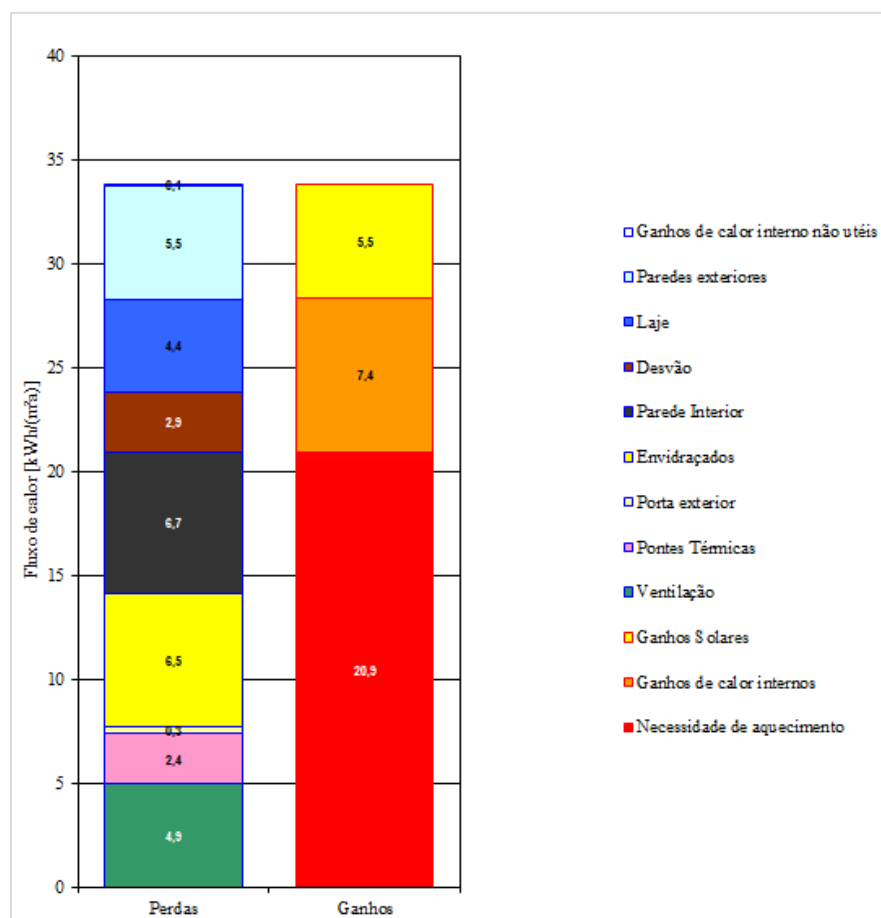


Figura 32 - Balanço energético do edifício com a solução construtiva otimizada





# *Capítulo 5*

---

ESTUDO PARAMÉTRICO



## **5. Estudo Paramétrico**

5.1. Definição das zonas climáticas

5.2. Análise do desempenho energético do edifício original

5.3. Viabilidade de edifícios *EnerPhit* noutras localidades

5.4. Influência da orientação

5.5. Síntese dos resultados



## 5. Estudo Paramétrico para diferentes climas

O presente estudo visa aferir as necessidades energéticas de um edifício, do ponto de vista da reabilitação energética, cuja composição das fachadas é em granito. Será realizado um estudo comparativo em diferentes localidades do norte de Portugal, por forma a reconhecer as diferentes condicionantes climatéricas, apontando as melhores soluções construtivas para a máxima rentabilização energética das diferentes soluções existentes.

### 5.1. Definição das zonas climáticas

As cidades escolhidas para o estudo paramétrico pertencem à zona norte, uma vez que a construção de edifícios em granito é predominante nesta região do país. Para a escolha das cidades procurou escolher-se aquelas que se localizam dentro das zonas climáticas mais severas da região norte.

Na Tabela 17 pode ver-se as cidades definidas para o estudo e o correspondente número de graus-dias de aquecimento com base numa temperatura de 18°C.

Tabela 17 - Cidades definidas para o caso de estudo Despacho n.º 15793-F/2013

<b>Zona Climática</b>	<b>Número de Graus-Dias (°C.dias)</b>	<b>Cidade</b>
I3 V2	2015	Bragança
I2 V3	1764	Vila Real
I2 V2	1491	Braga
I2 V2	1629	Viana do Castelo
I1 V2	1250	Porto
I2 V2	1702	Viseu
I3 V2	1924	Guarda

### 5.2. Análise do desempenho energético do edifício original

Após a seleção das cidades, o edifício definido pelo projetista (original) foi simulado de acordo com os parâmetros originais, mantendo a orientação e soluções construtivas do projeto definido pelo projetista para o Porto. A análise energética foi realizada tendo em conta as diretrizes do *EnerPhit*, através da ferramenta PHPP8. Esta análise permitiu conhecer o comportamento do edifício para diferentes locais definidos anteriormente.

Deste modo foi possível identificar os parâmetros a otimizar no edifício a partir dos resultados determinados no edifício original.

### 5.2.1. Necessidades de aquecimento

O estudo do edifício original permitiu determinar as necessidades energéticas nominais, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, através do PHPP8, para as cidades referidas anteriormente.

Segundo o PHPP8 a necessidade de aquecimento anual corresponde à energia que é necessário utilizar durante a estação de aquecimento (inverno) para uma temperatura de conforto interior de 20°C.

A Figura 33 corresponde à análise da necessidade de aquecimento anual. Verifica-se que a cidade da Guarda é a que possui maiores necessidades de aquecimento anual, para as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Todas as cidades seleccionadas excedem o limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano), logo, terão de ser consideradas novas estratégias de modo a cumprir os requisitos do padrão *EnerPhit*. As estratégias para a redução destas necessidades poderão ser o aumento da espessura de isolamento e a otimização dos vãos envidraçados para vidros triplos ou duplos, com melhor desempenho energético.

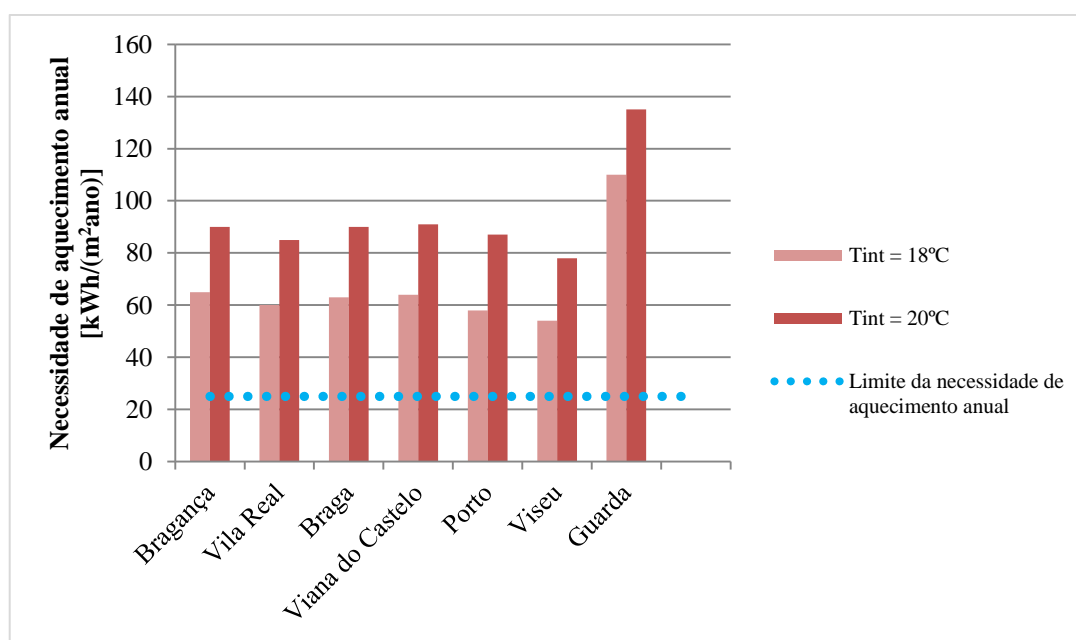


Figura 33 - Necessidades de aquecimento anuais para as diferentes regiões

### 5.2.2. Carga de aquecimento

A carga de aquecimento representa a potência necessária por metro quadrado, que o sistema de aquecimento deve fornecer, para garantir a temperatura de conforto de 20°C no edifício.

Na Figura 34 pode verificar-se que todas as cidades selecionadas apresentam cargas de aquecimento elevadas, considerando as características do edifício original.

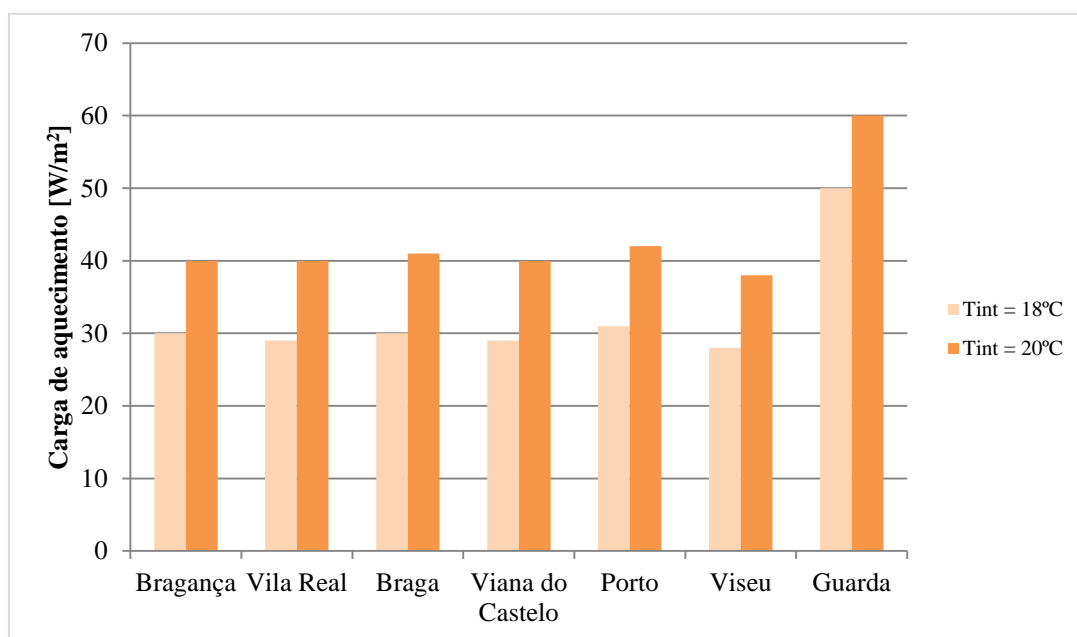


Figura 34 - Carga de aquecimento para as diferentes regiões

### 5.2.3. Necessidades de energia primária

A necessidade de energia primária contabiliza toda a energia necessária para o funcionamento do edifício, relativamente ao aquecimento, arrefecimento, aquecimento de águas quentes sanitárias, eletrodomésticos, sistema de ventilação e iluminação.

A Figura 35 apresenta as necessidades de energia primária do edifício original nas diferentes localidades, para temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Verifica-se que nenhuma das localidades cumpre o limite do padrão *EnerPhit*, para uma temperatura de conforto interior de 20°C. As cidades de Vila Real, Porto e Viseu não ultrapassam o limite da necessidade de energia primária, para uma temperatura interior de 18°C. Para

estas cumprirem esse limite, para além de alterações feitas relativamente à espessura do isolamento e dos envidraçados, também a aplicação de painéis solares irá contribuir para a diminuição da necessidade de energia primária.

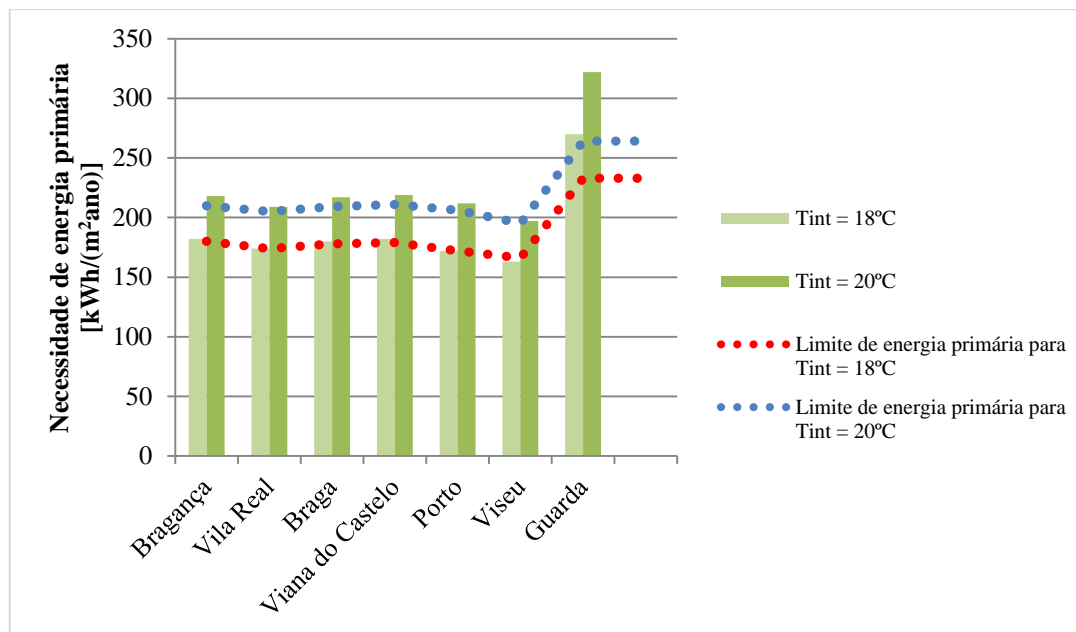


Figura 35 - Necessidade de energia primária para as diferentes localidades

#### 5.2.4. Risco de sobreaquecimento

A Figura 36 apresenta o risco de sobreaquecimento do ar interior do edifício original. É considerado risco de sobreaquecimento, quando a temperatura interior é superior a  $25^{\circ}\text{C}$  em mais de 10% do tempo da estação de arrefecimento.

As localidades com maior risco de sobreaquecimento são Bragança e Viseu, para ambas as temperaturas de conforto interior de  $18^{\circ}\text{C}$  e  $20^{\circ}\text{C}$ . Estas duas cidades, durante a estação de arrefecimento apresentam temperaturas muito elevadas, logo o risco de sobreaquecimento também será elevado, como se pode verificar com a Figura 36.

As restantes localidades apresentam uma percentagem mais baixa de sobreaquecimento, não havendo qualquer problema para o cumprimento do padrão *EnerPhit*.



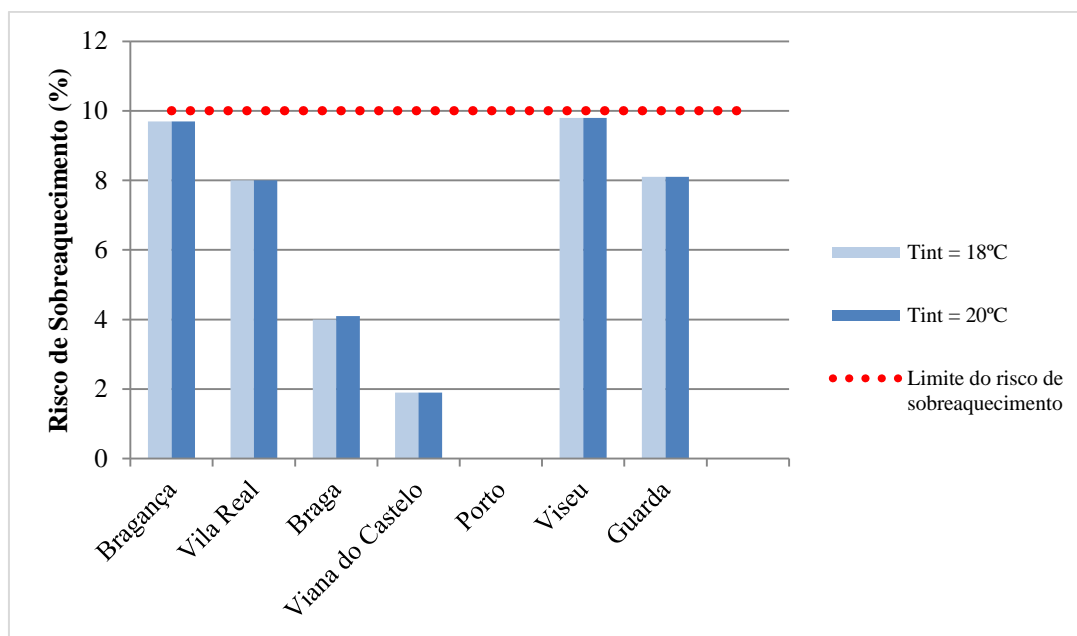


Figura 36 - Risco de sobreaquecimento para as diferentes localidades

### 5.3. Viabilidade de edifícios *EnerPhit* noutras localidades

Após a análise detalhada do edifício original localizado em várias regiões do norte do país, verificou-se que nenhuma das localidades cumpre todos os requisitos impostos pelo padrão. Para o cumprimento dos requisitos serão realizadas alterações relativamente à espessura do isolamento, utilização de envidraçados mais eficientes, colocação de painéis solares e a colocação de sistema de ventilação mecânica com elevada eficiência.

#### 5.3.1. Otimização de soluções construtivas

Para se atingir os requisitos do padrão *EnerPhit* foram estudadas novas soluções construtivas para as diferentes localidades, uma vez que as soluções elaboradas para a cidade do Porto na secção 4.4.2., não respeitavam os limites impostos pelo padrão.

##### 5.3.1.1. Soluções construtivas com isolamento térmico (XPS)

Para além das soluções construtivas equacionadas para o Porto foram elaboradas mais três (Tabela 18). A solução 4 corresponde à aplicação de 5 cm de isolamento térmico XPS nas paredes pelo interior e 10 cm nos pavimentos, colocação de painéis solares e caixilharia de

madeira com vidro triplo. A solução 5 apenas difere da solução anterior, no que diz respeito à espessura da aplicação de isolamento pelo interior, sendo que na solução 5 é aplicado 10 cm de isolamento térmico XPS nas paredes e nos pavimentos. A última solução construtiva apenas difere das duas anteriores, relativamente à aplicação de 15 cm de isolamento térmico XPS nas paredes e nos pavimentos.

Na Tabela 18 seguem-se as várias soluções construtivas equacionadas.

Tabela 18 - Soluções construtivas com isolamento térmico XPS

<b>Soluções Construtivas</b>	<b>Painéis Solares</b>	<b>Espessura das paredes (cm)</b>	<b>Espessura do pavimento (cm)</b>	<b>Vidro Duplo</b>	<b>Vidro Triplo</b>
<b>1</b>	Sim	5	10	Sim	-
<b>2</b>	Sim	10	10	Sim	-
<b>3</b>	Sim	5	5	-	Sim
<b>4</b>	Sim	5	10	-	Sim
<b>5</b>	Sim	10	10	-	Sim
<b>6</b>	Sim	15	15	-	Sim

#### 5.3.1.2. Soluções construtivas com isolamento térmico (VIP)

Para além das soluções construtivas A, B, C e D, foi necessário realizar outra solução construtiva, a fim de atingir os limites do padrão *EnerPhit* (Tabela 19). Essa nova solução corresponde à solução construtiva E, que tem como característica a aplicação de 2 cm de isolamento térmico VIP nas paredes pelo interior e nos pavimentos, a colocação de painéis solares e caixilharia de madeira com vidro triplo.

A Tabela 19 representa sintetizadamente a solução construtiva definida.

Tabela 19 - Solução construtiva com isolamento térmico VIP

<b>Solução Construtiva</b>	<b>Painéis Solares</b>	<b>Espessura das paredes (cm)</b>	<b>Espessura do pavimento (cm)</b>	<b>Vidro Duplo</b>	<b>Vidro Triplo</b>
<b>A</b>	Sim	1	1	Sim	-
<b>B</b>	Sim	1,5	1,5	Sim	-
<b>C</b>	Sim	1	1	-	Sim
<b>D</b>	Sim	1,5	1,5	-	Sim
<b>E</b>	Sim	2	2	-	Sim

### 5.3.2. Análise energética segundo o PHPP

#### 5.3.2.1. Edifício *EnerPhit* para Bragança

A cidade de Bragança está situada numa zona climática I<sub>3</sub>V<sub>2</sub>, segundo o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH). A cidade de Bragança apresenta um clima muito frio no inverno e muito quente no verão, ou seja, serão esperadas necessidades de aquecimento muito elevadas. As exigências construtivas serão diferentes das exigências relativas à localização inicial (Porto) do edifício em estudo.

#### Soluções construtivas com isolamento térmico XPS

Para atingir os limites impostos pelo padrão foram equacionadas as soluções 1, 2, 3, 4, 5 e 6, a fim de definir aquela que se apresenta mais eficiente. Analisando as soluções construtivas otimizadas a partir do PHPP, foram determinados os valores das necessidades energéticas para ir ao encontro dos requisitos impostos pelo *EnerPhit*.

A Figura 37 apresenta os resultados das necessidades de aquecimento anual para as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20 °C. Verificou-se a existência de uma diminuição significativa do valor dessas necessidades. Como se pode observar, para uma temperatura de conforto interior de 18°C, todas as soluções construtivas respeitam o limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Para a temperatura de conforto interior de 20°C, isso não acontece, porque as exigências do padrão *EnerPhit* são maiores. Apenas a solução 5 e 6 respeitam o

limite, relativamente à necessidade de aquecimento anual com valores de  $19 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$  e  $13 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$ , respetivamente.

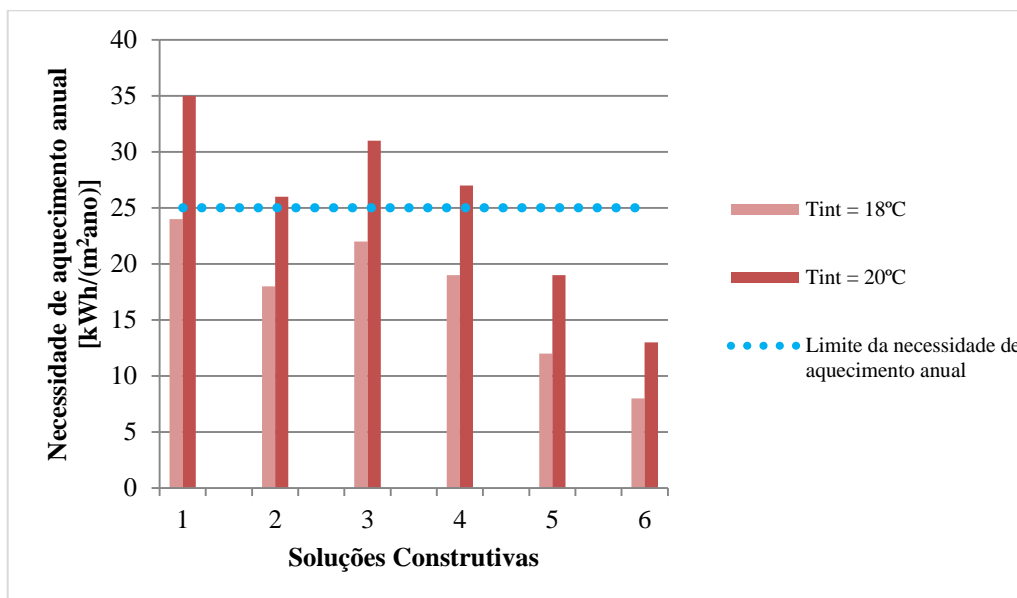


Figura 37 - Necessidades de aquecimento anual para Bragança

Na Figura 38 são apresentados os resultados da carga de aquecimento de cada solução construtiva, para temperaturas de conforto interior de  $18^\circ\text{C}$  e  $20^\circ\text{C}$ . Verifica-se que a carga de aquecimento é menor nas soluções 5 e 6, para ambas as temperaturas de conforto interior de  $18^\circ\text{C}$  e  $20^\circ\text{C}$ . Isto significa que a potência aplicada por metro quadrado é suficiente para atingir uma temperatura de conforto de  $18^\circ\text{C}$  e  $20^\circ\text{C}$ .

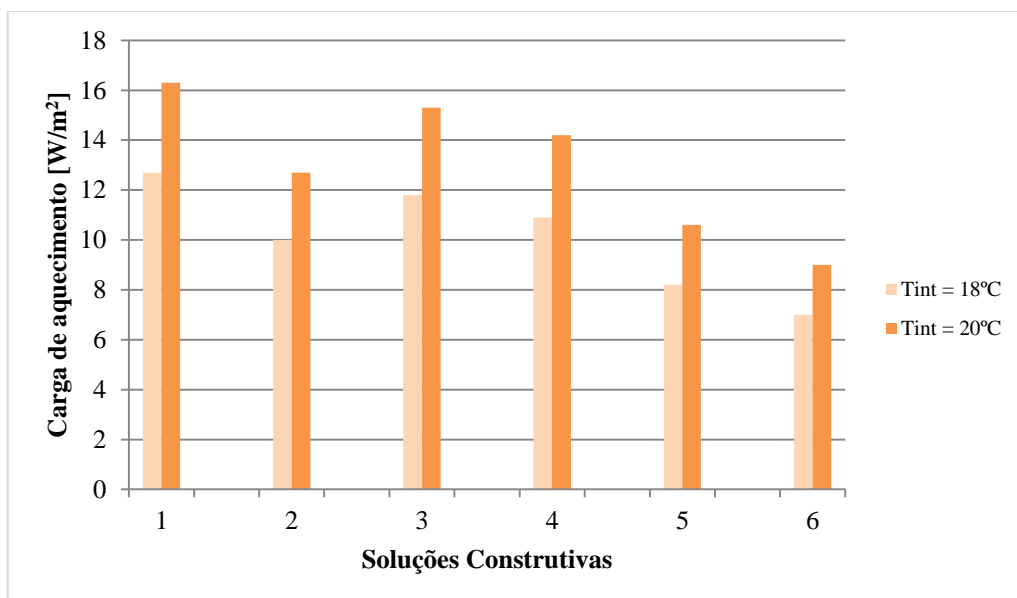


Figura 38 - Carga de aquecimento para Bragança

A Figura 39 corresponde à análise da necessidade de energia primária. Pode verificar-se que tanto para uma temperatura de conforto interior de 18°C, como para uma temperatura de conforto interior de 20°C, nenhuma solução construtiva ultrapassa o seu respetivo limite, ou seja, os requisitos do padrão *EnerPhit* são atingidos.

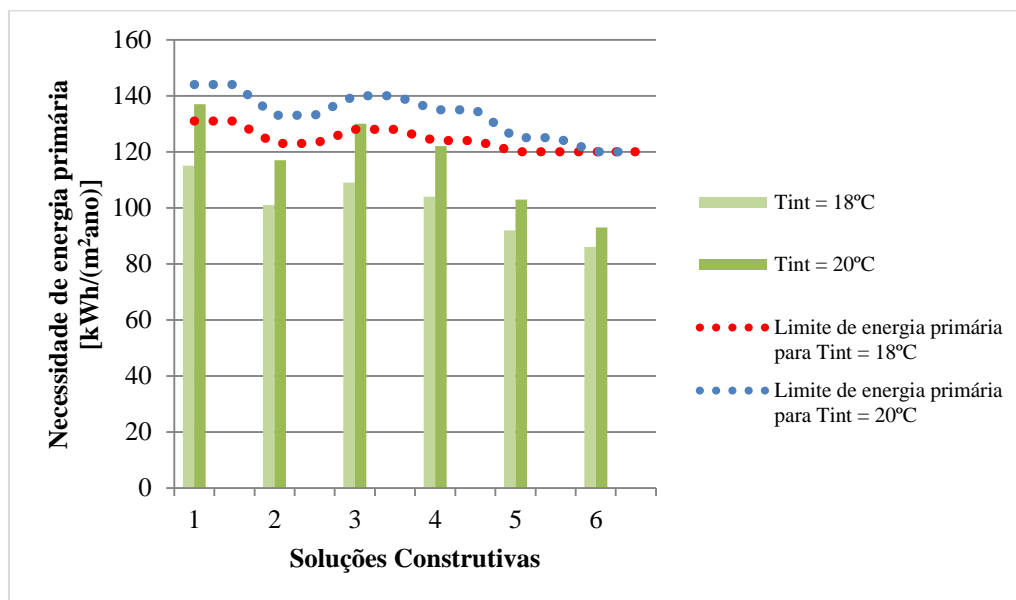


Figura 39 - Necessidade de energia primária para Bragança

A Figura 40 apresenta o risco de sobreaquecimento do edifício. Pode observar-se que as soluções construtivas apresentam valores muito semelhantes, sendo a solução 1 a que apresenta valores mais baixos (8,6%). Isto significa que a temperatura de conforto do edifício será 8,6% do tempo superior ao limite da temperatura de conforto máximo de 25°C.

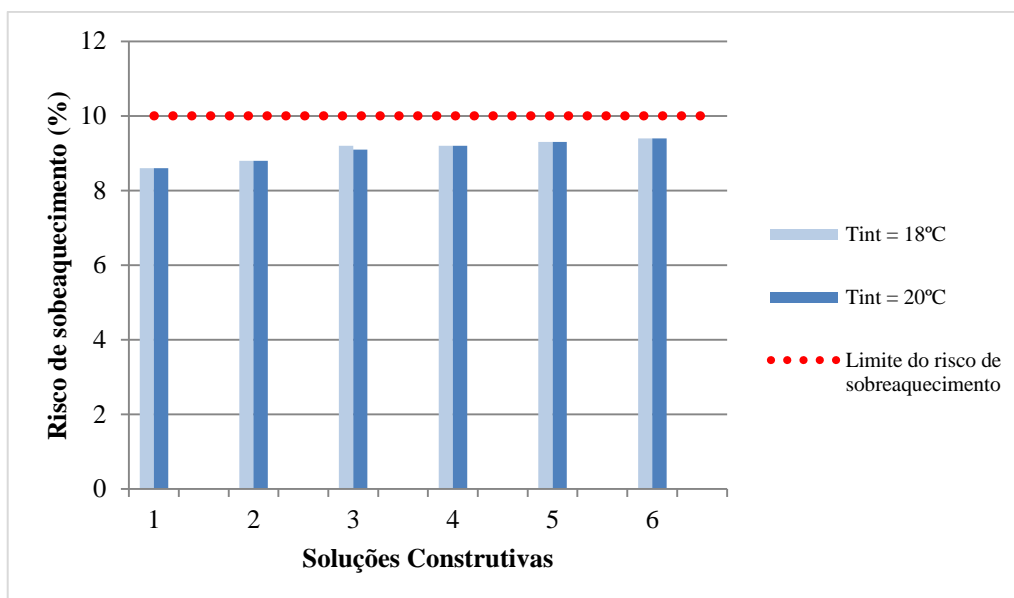


Figura 40 - Risco de sobreaquecimento para Bragança

Na Tabela 20 apresenta-se o resumo dos resultados obtidos resultante da aplicação da solução 5. Esta é a única solução construtiva que cumpre os requisitos mínimos do padrão *EnerPhit*, para além da última solução 6. Foi possível atingir-se um edifício de baixo consumo de energia para aquecimento para uma temperatura de 18°C e 20°C. No entanto, a taxa de sobreaquecimento está ligeiramente abaixo de 10%, o que significa que a temperatura interior é superior a 25°C, 9,3% do tempo do período da estação de arrefecimento.

Tabela 20 - Requisitos do edifício para Bragança

	$T_{int} = 18^{\circ}\text{C}$	$T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	12	19
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	8	11
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	92	103
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	9,3	9,3

De forma a avaliar o efeito das alterações efetuadas ao sistema construtivo é apresentada na Tabela 21, as reduções obtidas das necessidades nominais anuais, entre a solução construtiva original e a solução 5. As reduções obtidas são suficientes.

Tabela 21 - Redução das necessidades nominais anuais para Bragança

	Redução da necessidade de aquecimento anual (%)	Redução da carga de aquecimento (%)	Redução da necessidade de energia primária (%)	Redução do risco de sobreaquecimento (%)
$T_{int}=18^{\circ}\text{C}$	81	73	50	4
$T_{int}=20^{\circ}\text{C}$	79	74	58	4

Soluções construtivas com isolamento térmico VIP

Para poder alcançar os limites do padrão *EnerPhit* foram efetuadas cinco soluções construtivas A, B, C, D e E.

A Figura 41 apresenta os resultados da necessidade de aquecimento anual, através da aplicação das soluções construtivas equacionadas. Verifica-se que as soluções A, B e C, para uma temperatura de conforto interior de  $20^{\circ}\text{C}$ , ultrapassam o limite de  $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$ . No entanto, para a temperatura de conforto interior de  $18^{\circ}\text{C}$ , apenas a solução A ultrapassa o valor limite. A solução D e E cumprem o padrão *EnerPhit*, relativamente à necessidade de aquecimento anual, para ambas as temperaturas de conforto interior de  $18^{\circ}\text{C}$  e  $20^{\circ}\text{C}$ , ou seja, são estas que necessitam de menos energia para atingir as temperaturas de conforto interior.

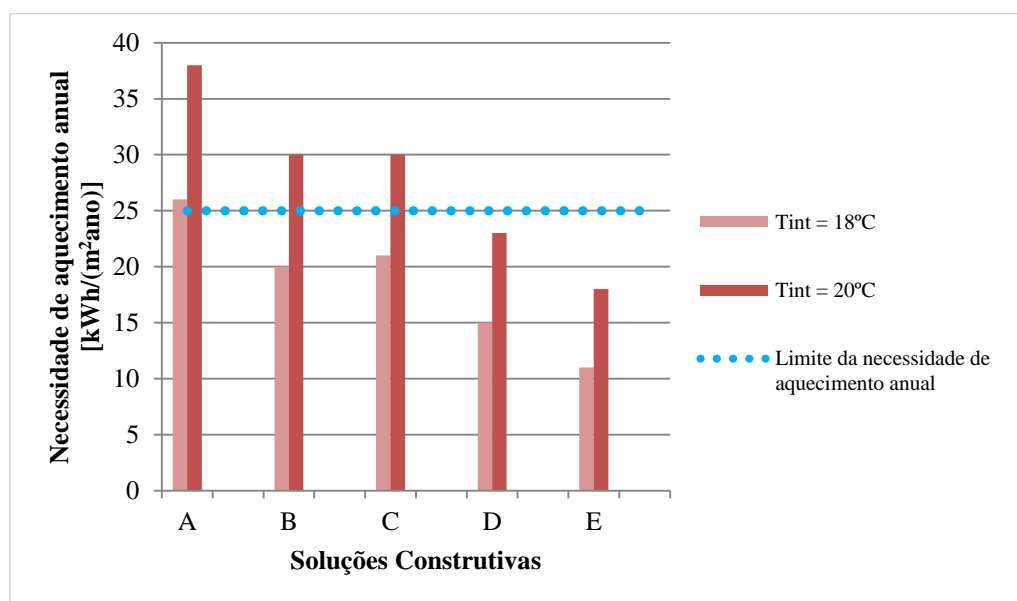


Figura 41 - Necessidade de aquecimento anual para Bragança

Na Figura 42 pode observar-se que a carga de aquecimento diminui da solução A para a B, uma vez que o que difere entre elas é a aplicação de mais 0,5 cm de painel de isolamento a vácuo. Entre a solução B e C, para uma temperatura de conforto interior de 18°C, a carga de aquecimento é a mesma, apresentando um valor de 11 W/m<sup>2</sup>, sendo o que difere entre elas seja apenas a utilização de um sistema de envidraçado com características mais favoráveis. As soluções D e E são as que apresentam valores mais baixos de carga de aquecimento, ou seja, são estas que necessitam de menor potência por metro quadrado, para garantir uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C.

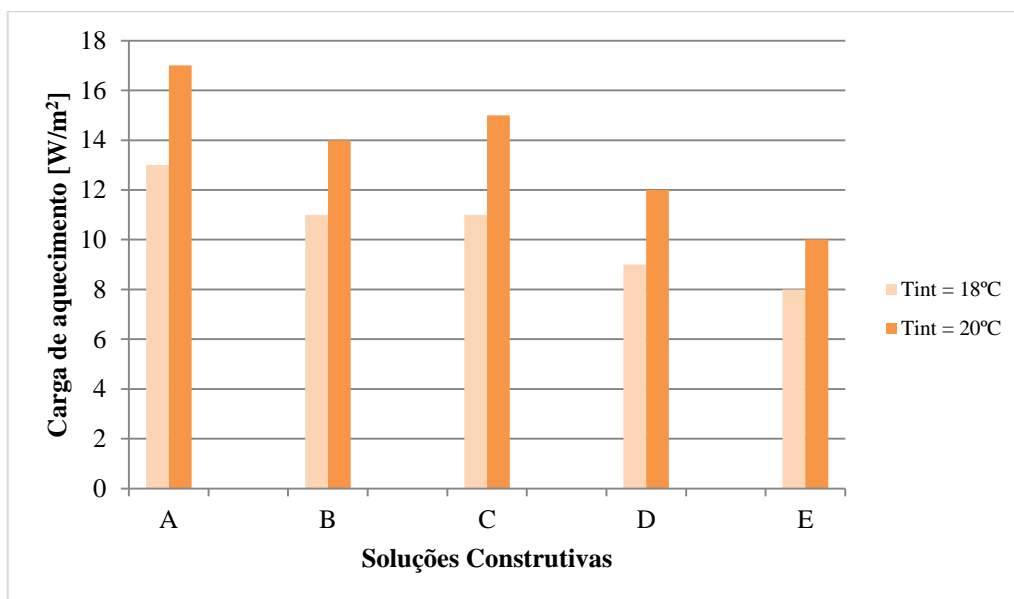


Figura 42 - Carga de aquecimento para Bragança

A Figura 43 representa a necessidade de energia primária para Bragança. Como se pode verificar, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, nenhum limite é ultrapassado, ou seja, todas as soluções construtivas respeitam o padrão *EnerPhit*.



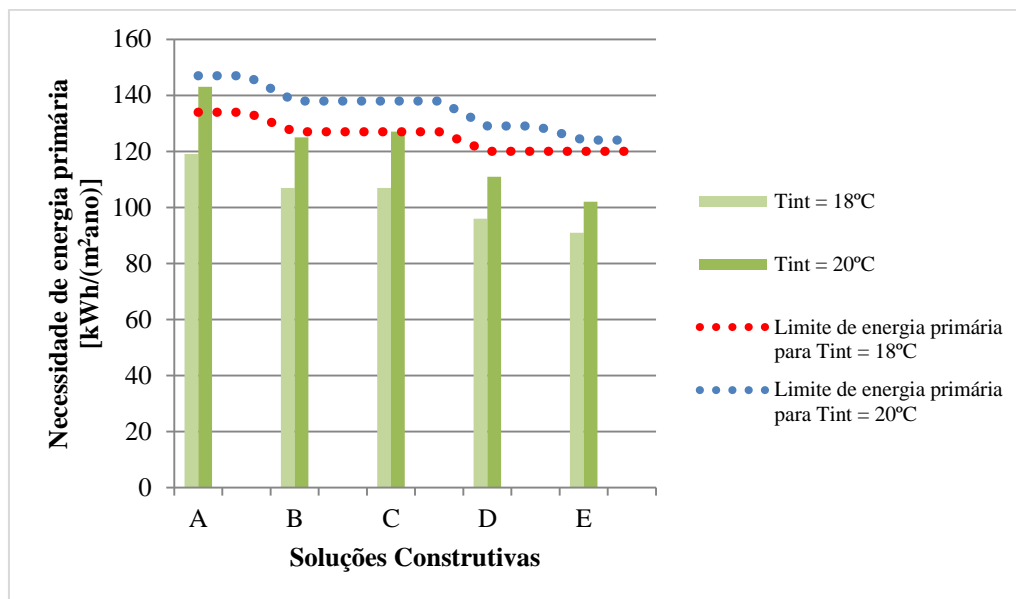


Figura 43 - Necessidade de energia primária para Bragança

A Figura 44 mostra a percentagem do risco de sobreaquecimento, no qual se pode verificar, que a solução A é a que apresenta valores mais baixos, 8,5%. Significa que com essa solução, a temperatura de conforto interior é superior a 25°C, durante 8,5 % do tempo.

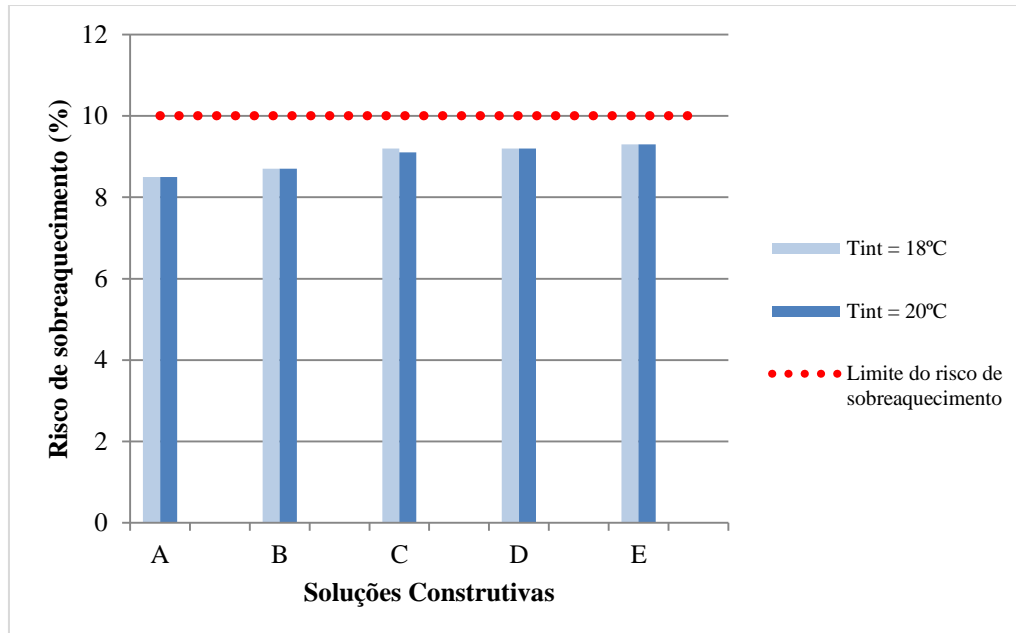


Figura 44 - Risco de sobreaquecimento para Bragança

Com o auxílio das Figuras 41, 42, 43, 44 apresenta-se o resumo dos resultados obtidos, através da Tabela 22 corresponde aos resultados obtidos da aplicação da solução D, uma

vez que esta é a que apresenta valores que cumprem o padrão *EnerPhit*. A solução E não foi a escolhida, porque esta corresponde à aplicação de 2 cm de isolamento térmico VIP, ao contrário da solução D onde é aplicado 1,5 cm de isolamento térmico VIP. Apesar destes valores respeitarem os limites do padrão é visível que o valor da taxa de sobreaquecimento é de 9,3%, ou seja, o edifício terá uma temperatura superior a 25°C durante 9,3% do tempo.

Tabela 22 - Requisitos do edifício para Bragança

	<b>T<sub>int</sub> = 18°C</b>	<b>T<sub>int</sub> = 20°C</b>
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	15	23
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	9	12
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	96	111
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	9,3	9,3

A Tabela 23 representa as reduções das necessidades nominais anuais verificadas, entre a solução construtiva original e a solução construtiva D. Pode observar que as reduções das necessidades nominais anuais, entre a temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C têm valores semelhantes.

Tabela 23 - Redução das necessidades nominais anuais para Bragança

	<b>Redução da necessidade de aquecimento anual (%)</b>	<b>Redução da carga de aquecimento (%)</b>	<b>Redução da necessidade de energia primária (%)</b>	<b>Redução do risco de sobreaquecimento (%)</b>
<b>T<sub>int</sub>=18°C</b>	77	70	47	4
<b>T<sub>int</sub>=20°C</b>	74	70	49	4

#### 5.3.2.2. Edifício *EnerPhit* para Vila Real

Segundo o Regulamento do Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH), a cidade de Vila Real está situada numa zona climática I<sub>2</sub>V3. Esta apresenta um clima muito severo na estação de aquecimento, tal como a cidade de Bragança e as exigências construtivas são também semelhantes.

## Soluções construtivas com isolamento térmico XPS

Com o objetivo de alcançar os limites impostos pelo padrão, foram propostas soluções construtivas que represente a solução que permite atingir os requisitos mínimos segundo o padrão *EnerPhit*.

A Figura 45 apresenta a análise da necessidade de aquecimento anual. Pode verificar-se que para uma temperatura de conforto interior de 18°C, todas as soluções cumprem o padrão *EnerPhit*. Para uma temperatura de conforto interior de 20°C, apenas as soluções 2, 5 e 6 é que respeitam o limite, cujos valores são de 24 kWh/(m<sup>2</sup>ano), 18 kWh/(m<sup>2</sup>ano) e 12 kWh/(m<sup>2</sup>ano), respetivamente.

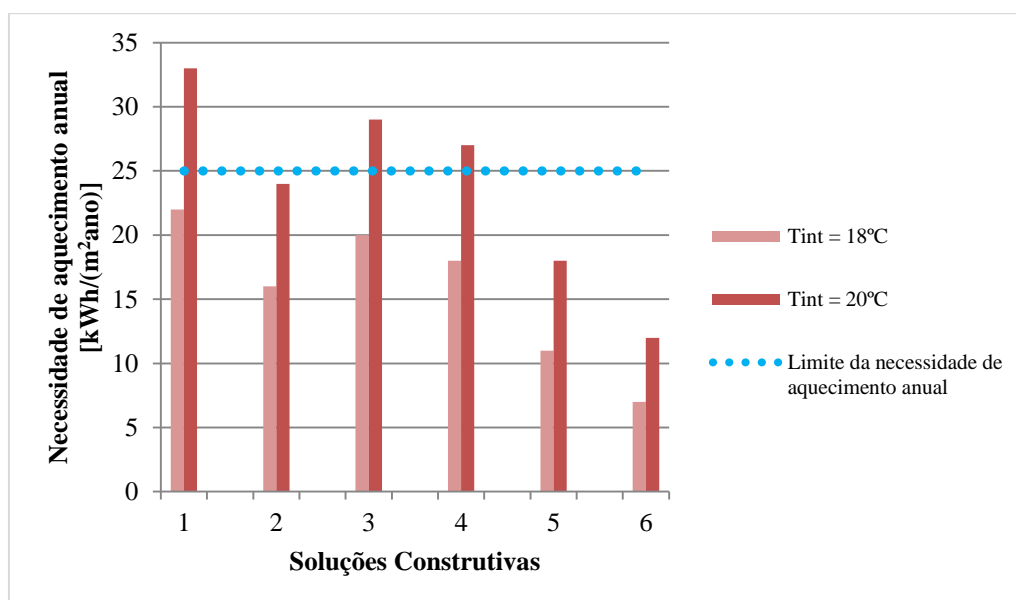


Figura 45 - Necessidade de aquecimento anual para Vila Real

A Figura 46 representa a análise da carga de aquecimento. Verifica-se que as soluções construtivas que apresentam valores mais baixos são as soluções 2, 5 e 6, tal como com a análise realizada da necessidade de aquecimento anual, para a temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C. Essa diminuição está relacionada apenas com a diferença da espessura de isolamento aplicado.

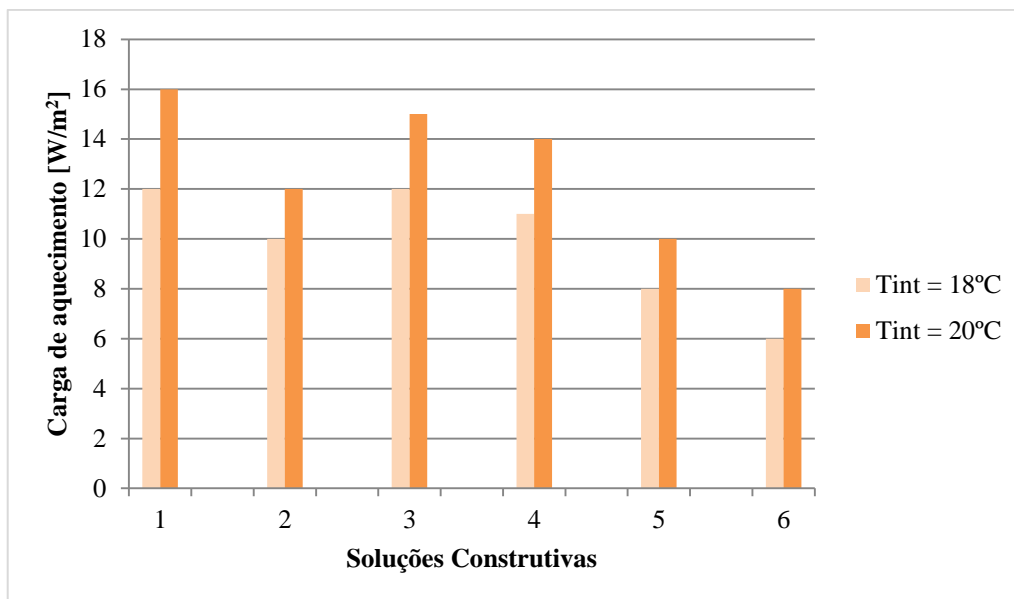


Figura 46 - Carga de aquecimento para Vila Real

A Figura 47 corresponde à análise da necessidade de energia primária. Verifica-se que todas as soluções construtivas efetuadas não ultrapassam o seu valor limite, para as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Esse limite é calculado através da equação (Eq.1) na secção 3.3, cujo valor é diferente em todas as soluções construtivas efetuadas.

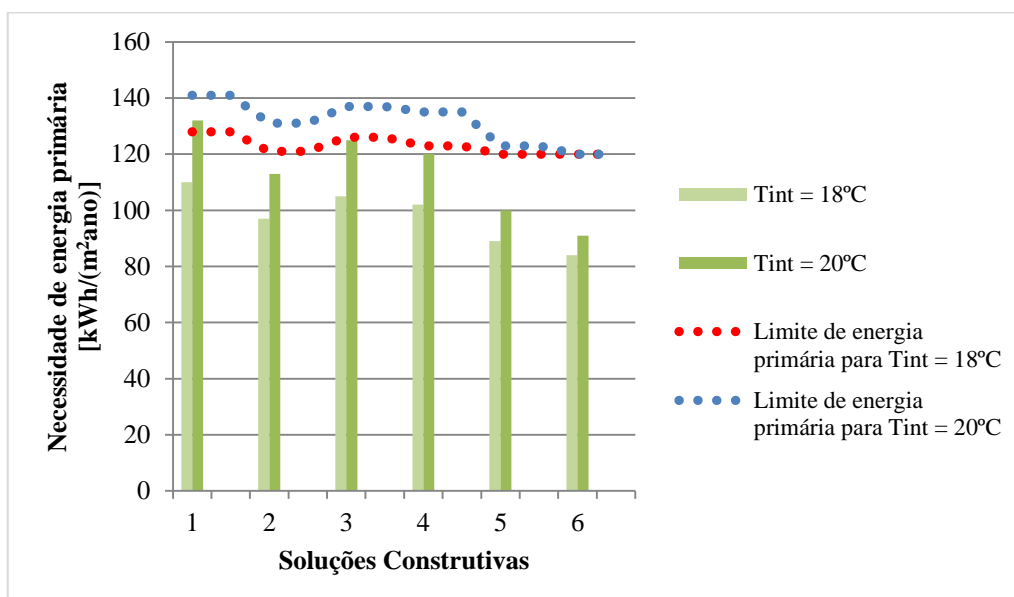


Figura 47 - Necessidade de energia primária para Vila Real

A Figura 48 apresenta o risco de sobreaquecimento das soluções construtivas equacionadas. É visível que todas as soluções apresentam valores inferiores a 10%, sendo a solução 1 a que apresenta o valor mais baixo, 7%.

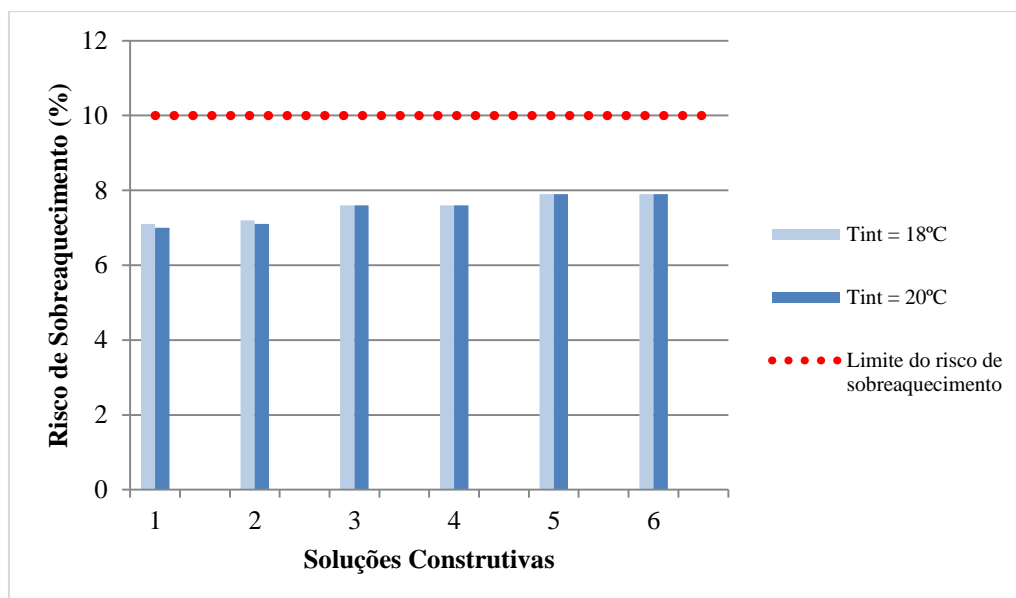


Figura 48 - Risco de sobreaquecimento para Vila Real

Na Tabela 24 apresenta-se o resumo dos resultados obtidos, resultante da aplicação da solução 5, uma vez que de todas as soluções estudadas é esta que apresenta valores que satisfaçam o padrão *EnerPhit*. Esta solução foi a selecionada, porque comparativamente à solução 6, que também respeita os limites do padrão, apresenta espessuras de isolamento térmico XPS inferiores. Foi possível atingir-se um edifício de baixo consumo na energia para aquecimento, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Estes valores revelam que é possível atingir este requisito mantendo um conforto interior elevado, uma vez que, na cidade de Vila Real a temperatura exterior durante o inverno atinge valores negativos. Com o aumento de isolamento e a utilização de vidros triplos, as perdas pela envolvente baixaram significativamente, tal como a necessidade de aquecimento.

Tabela 24 - Requisitos do edifício para Vila Real

	$T_{int} = 18^{\circ}\text{C}$	$T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	11	18
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	8	10
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	89	100
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	7,9	7,9

A Tabela 25 representa as reduções das necessidades nominais anuais para Vila Real, entre a solução construtiva original e a solução 5. Pode observar-se que houve reduções significativas, exceto no risco de sobreaquecimento no qual não houve praticamente diminuição, ou seja, o edifício atingirá uma temperatura superior a 25°C, durante 7,9% do tempo.

Tabela 25 - Redução das necessidades nominais anuais para Vila Real

	<b>Redução da necessidade de aquecimento anual (%)</b>	<b>Redução da carga de aquecimento (%)</b>	<b>Redução da necessidade de energia primária (%)</b>	<b>Redução do risco de sobreaquecimento (%)</b>
$T_{int}=18^{\circ}\text{C}$	82	6	49	1
$T_{int}=20^{\circ}\text{C}$	79	65	52	1

Através da análise das soluções construtivas apresentadas verifica-se que estas são iguais às soluções construtivas para a localidade de Bragança. Esse efeito revela que, para a cidade de Bragança e Vila Real, têm a mesma prática construtiva a adotar na reabilitação deste tipo de edifícios.

#### Soluções construtivas com isolamento térmico VIP

Para a realização deste estudo foi necessário aplicar outro tipo de isolamento a fim de não reduzir tanto a área habitacional do edifício. Para tal, foram estudadas várias soluções construtivas.

A Figura 49 representa a análise da necessidade de aquecimento anual. Verifica-se que para uma temperatura de conforto interior de 20°C, apenas as soluções D e E é que não ultrapassam o limite, cujos valores são de 21 kWh/(m<sup>2</sup>ano) e 16 kWh/(m<sup>2</sup>ano),

respetivamente. No entanto, para uma temperatura de conforto interior de 18°C, todas as soluções construtivas respeitam o limite do padrão *EnerPhit*, para as necessidades de aquecimento anual.

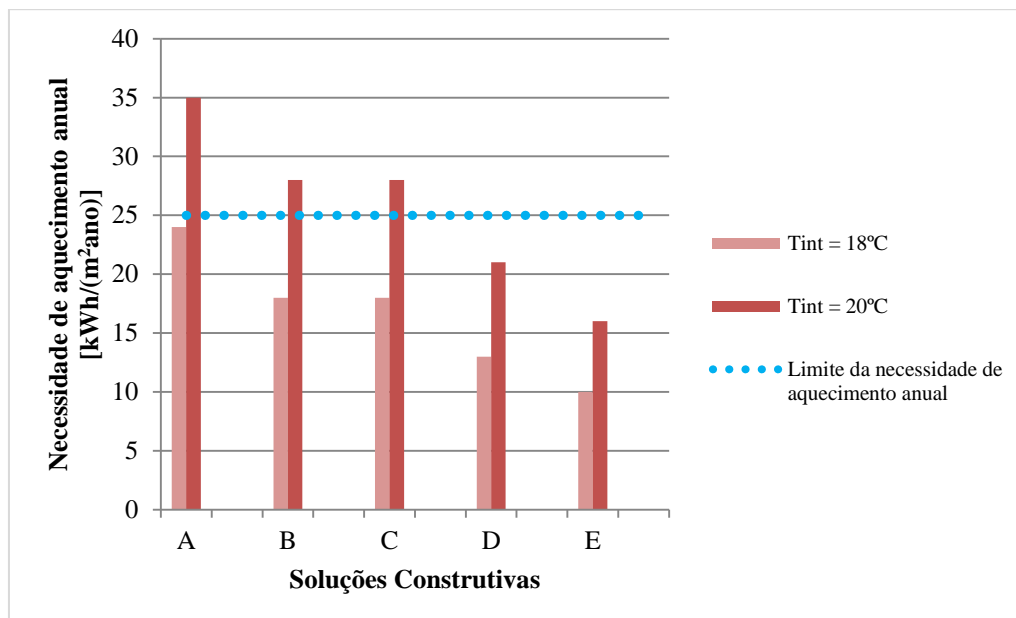


Figura 49 - Necessidade de aquecimento anual para Vila Real

A Figura 50 representa a análise da carga de aquecimento. É possível verificar, que para uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C, as soluções construtivas com menor carga de aquecimento são as soluções D e E. São essas soluções que necessitam de uma menor potência por metro quadrado para garantir uma temperatura de conforto de 18°C e 20°C.

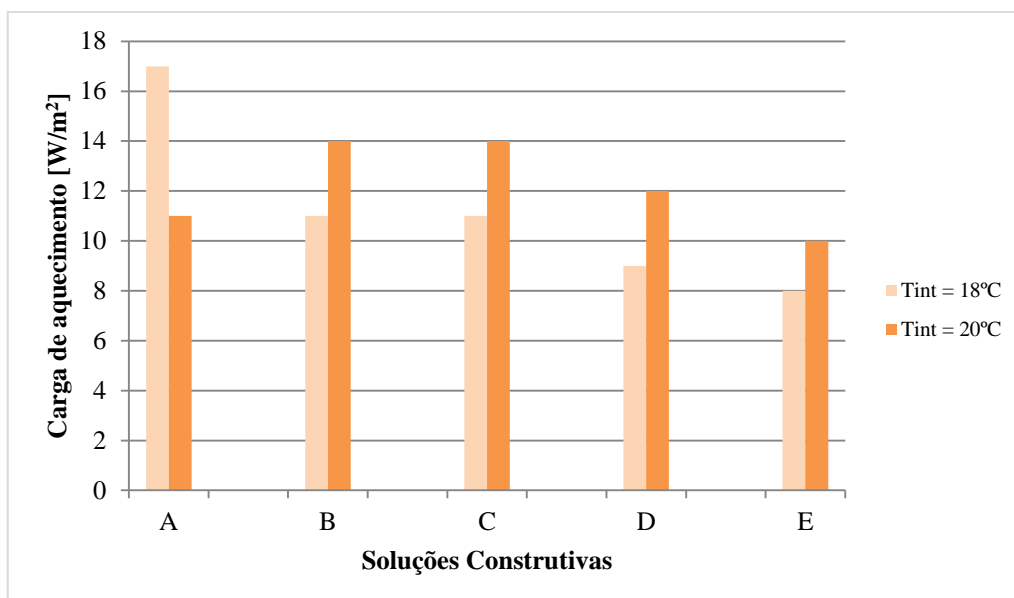


Figura 50 - Carga de aquecimento para Vila Real

A Figura 51 corresponde à análise da necessidade de energia primária. Esta revela que os limites são respeitados, para uma temperatura de conforto interior de 18°C e de 20°C, ou seja, relativamente à necessidade de energia primária, todas as soluções construtivas cumprem os requisitos do padrão *EnerPhit*.

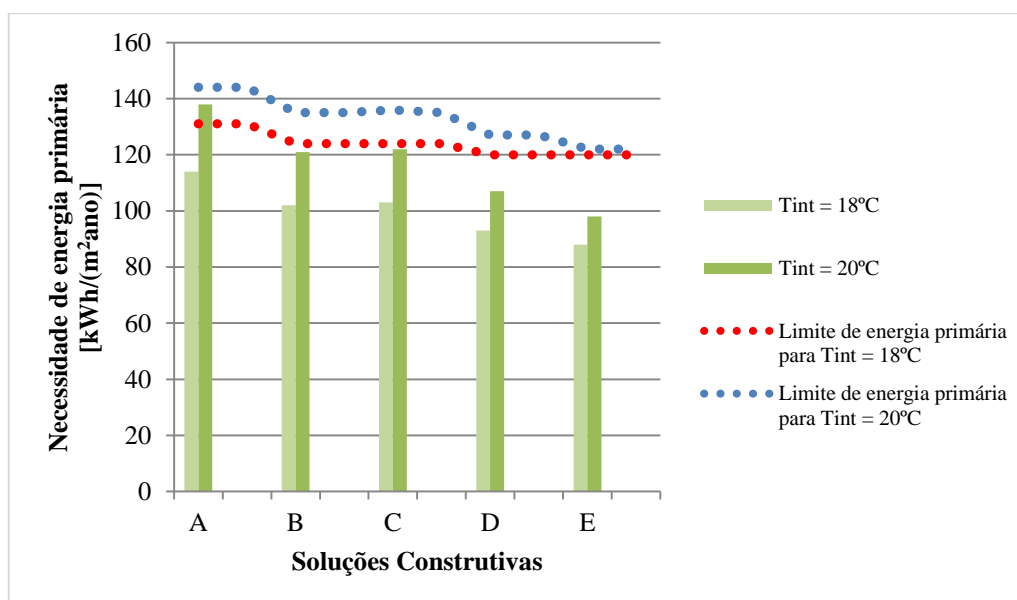


Figura 51 - Necessidade de energia primária para Vila Real

A Figura 52 representa o risco de sobreaquecimento para Vila Real. Pode observar-se que todas as soluções construtivas encontram-se abaixo do valor limite de 10%.



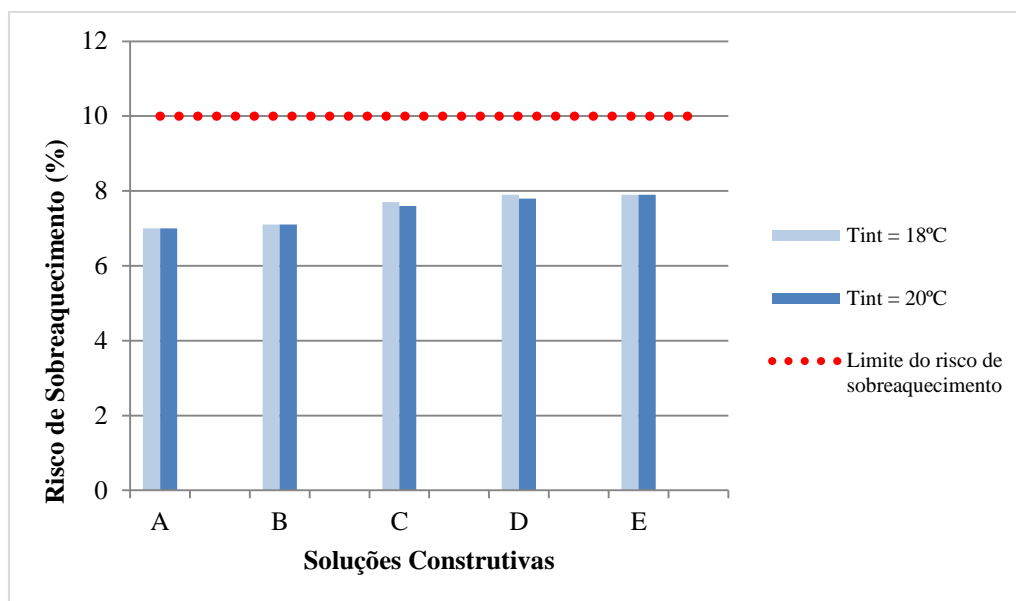


Figura 52 - Risco de sobreaquecimento para Vila Real

De uma forma sucinta, é apresentada a Tabela 26 que corresponde à solução construtiva D. Esta solução foi a escolhida, porque respeita os limites do padrão *EnerPhit*, e comparativamente à solução E, esta requer menor espessura (0,5 cm) de isolamento VIP. A cidade de Vila Real não apresenta uma taxa de sobreaquecimento muito elevada (7,9%), tanto para a aplicação de isolamento térmico XPS ou VIP, ou seja, o edifício terá uma temperatura de conforto superior a 25°C, durante 7,9% do tempo.

Tabela 26 - Requisitos do edifício para Vila Real

	$T_{int} = 18^{\circ}\text{C}$	$T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	13	21
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	9	12
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	93	107
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	7,9	7,9

A Tabela 27 representa as reduções das necessidades nominais anuais para Vila Real, entre a solução construtiva original e a solução D. Pode observar-se que há reduções significativas na necessidade de aquecimento anual, carga de aquecimento e necessidade de energia primária, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. A redução do risco de sobreaquecimento é apenas de 1%.

Tabela 27 - Redução das necessidades nominais anuais para Vila Real

	<b>Redução da necessidade de aquecimento anual (%)</b>	<b>Redução da carga de aquecimento (%)</b>	<b>Redução da necessidade de energia primária (%)</b>	<b>Redução do risco de sobreaquecimento (%)</b>
<b>T<sub>int</sub> = 18°C</b>	78	69	47	1
<b>T<sub>int</sub> = 20°C</b>	75	70	49	1

### 5.3.2.3. Edifício *EnerPhit* para Braga

A cidade de Braga está situada numa zona climática I<sub>2</sub>V<sub>2</sub>, segundo o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH). Esta cidade não apresenta temperaturas tão severas na estação de aquecimento, tal como as duas cidades analisadas anteriormente, Bragança e Vila Real.

#### Soluções construtivas com isolamento térmico XPS

A Figura 53 apresenta valores da necessidade de aquecimento anual resultantes da aplicação das soluções construtivas. Verifica-se que para uma temperatura de conforto interior de 18°C, todas as soluções respeitam o padrão *EnerPhit*. Para uma temperatura de conforto interior de 20°C, as soluções 1, 3 e 4 não cumprem o limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano), o que significa que a energia necessária durante a estação de aquecimento, para uma temperatura de conforto de 20°C não é suficiente.

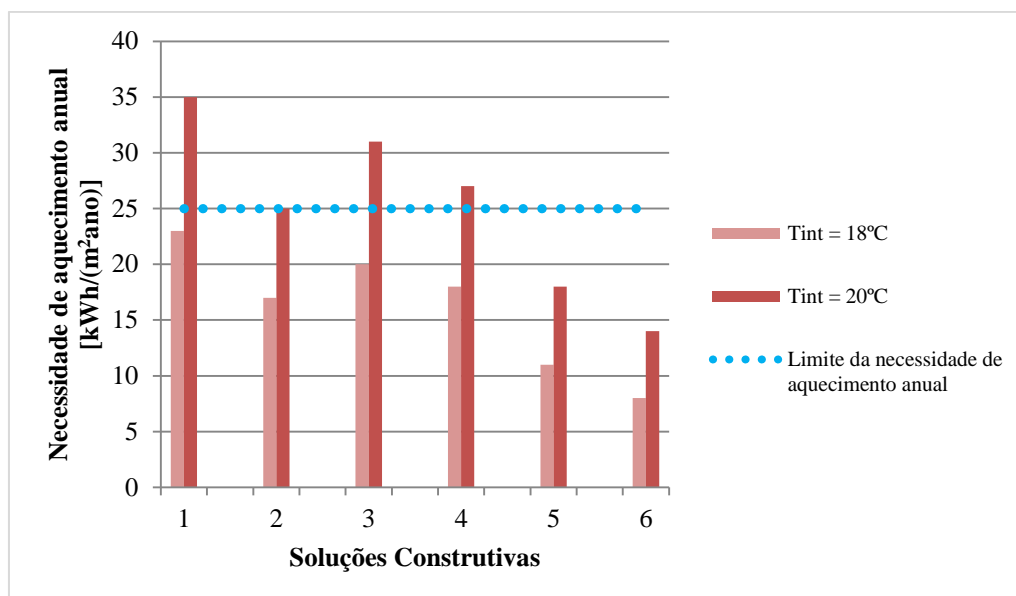


Figura 53 - Necessidade de aquecimento anual para Braga

A Figura 54 representa a análise da carga de aquecimento. Pode verificar-se que para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, a carga de aquecimento com valores mais baixos são as soluções 5 e 6. Estas soluções utilizam uma potência menor por metro quadrado, que é suficiente para garantir temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C.

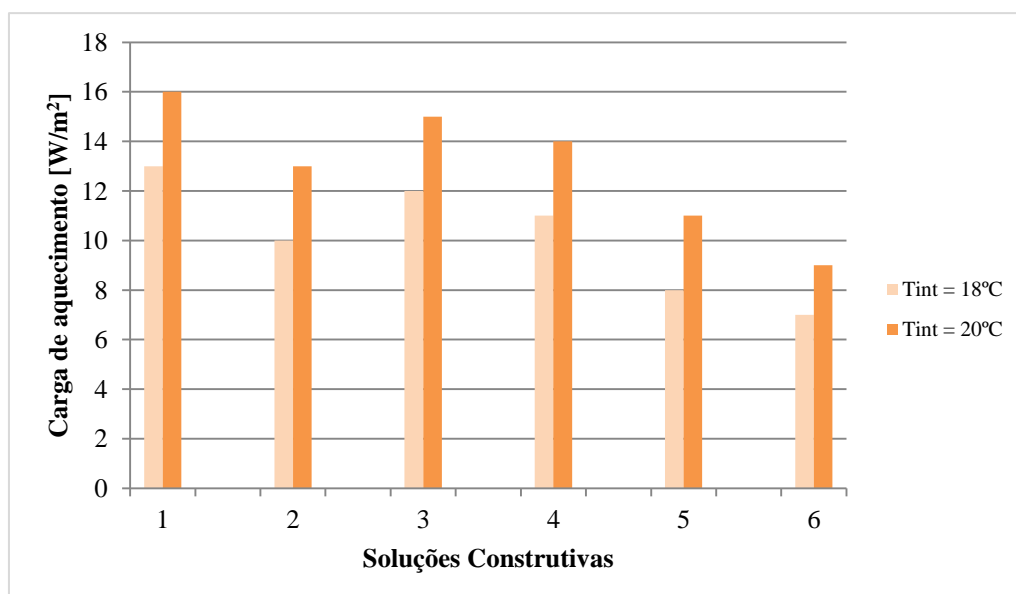


Figura 54 - Carga de aquecimento para Braga

A Figura 55 representa a análise da necessidade de energia primária. Verifica-se que os limites de energia primária para cada caso são respeitados, para as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, visto que nenhum limite é ultrapassado na aplicação das soluções construtivas estudadas.

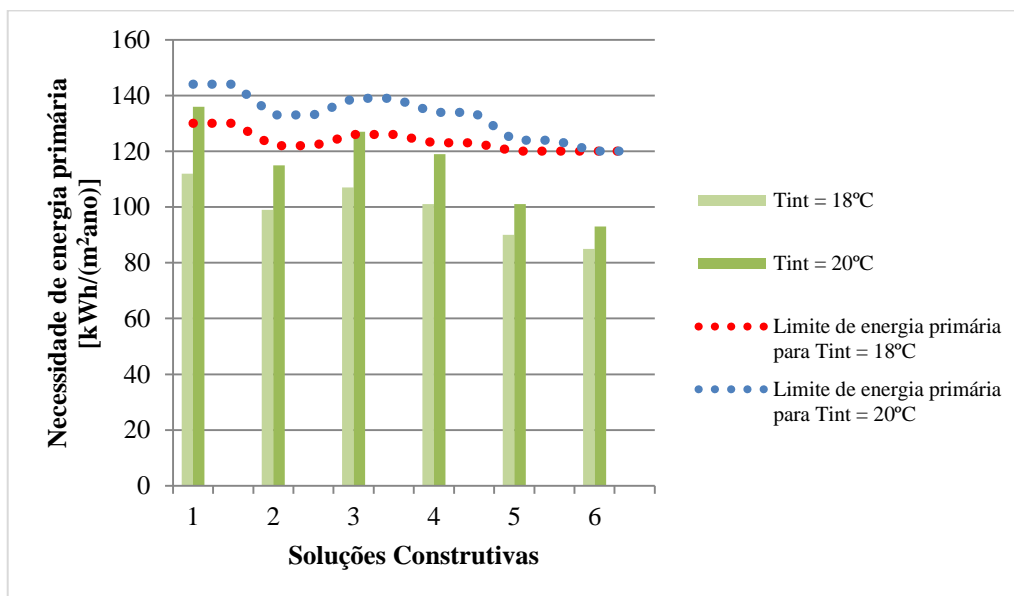


Figura 55 - Necessidade de energia primária para Braga

A Figura 56 representa a análise do risco de sobreaquecimento para Braga. Pode observar-se que todas as soluções construtivas cumprem o limite de 10% do risco de sobreaquecimento.

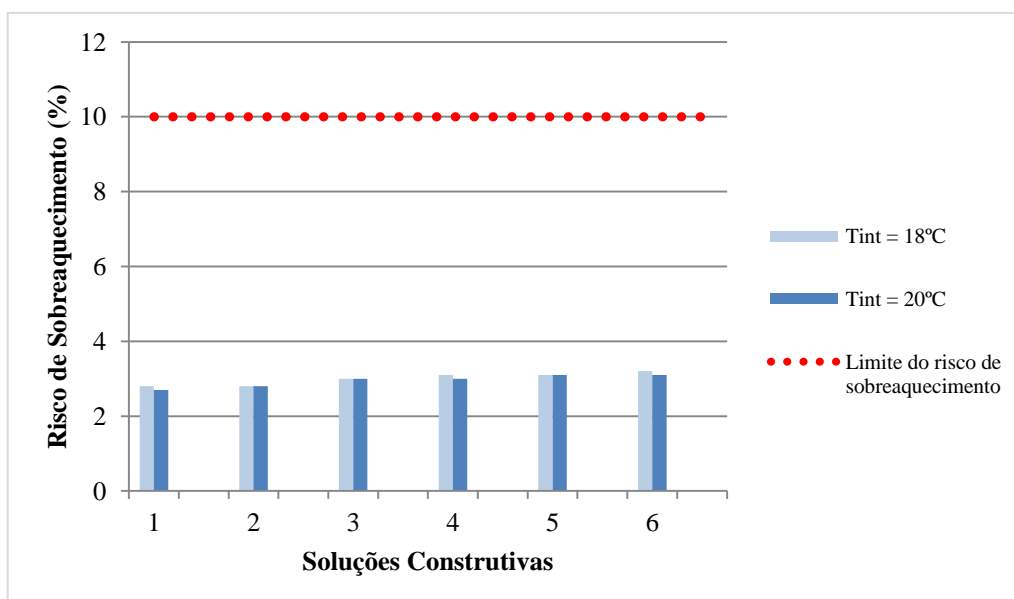


Figura 56 - Risco de sobreaquecimento para Braga

De seguida, apresenta-se a súmula dos requisitos atingidos com a ado  o da soluço 5. Esta soluço    a que respeita os limites impostos pelo padrão *EnerPhit*, e em termos de espessura de isolamento e tipo de envidraçado    a que melhor se adequa ao tipo de edifício e localidade. Conseguiu-se um edifício com baixo consumo energético, como se pode verificar através da Tabela 28. Estes valores revelam que o conforto interior será elevado, uma vez que, na cidade de Braga as temperaturas durante o inverno são reduzidas. Com o aumento de isolamento e utiliza  o de uma soluço envidraçada com vidro triplo, as perdas pela envolvente baixaram e, conseqüentemente, a necessidade de aquecimento também. Verifica-se que a taxa de sobreaquecimento    baixa, sendo que apenas 3,1% do tempo a temperatura interior será superior a 25   C na estão de arrefecimento.

Tabela 28 - Requisitos do edifício para Braga

	<b>T<sub>int</sub> = 18��C</b>	<b>T<sub>int</sub> = 20��C</b>
<b>Necessidade de aquecimento anual</b> <b>[kWh/(m��ano)]</b>	11	18
<b>Carga de aquecimento [W/m��]</b>	8	11
<b>Necessidade de energia prim��ria</b> <b>[kWh/(m��ano)]</b>	90	101
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	3,1	3,1

A Tabela 29 indica as redu  o  s das necessidades nominais anuais para Braga, entre a soluço construtiva original e a soluço 5. Verifica-se para ambas as temperaturas de conforto interior de 18  C e 20  C elevadas redu  o  s do consumo de energia.

Tabela 29 - Redu  o das necessidades nominais anuais para Braga

	<b>Redu��o da</b> <b>necessidade</b> <b>de</b> <b>aquecimento</b> <b>anual (%)</b>	<b>Redu��o da</b> <b>carga de</b> <b>aquecimento</b> <b>(%)</b>	<b>Redu��o da</b> <b>necessidade</b> <b>de energia</b> <b>prim��ria (%)</b>	<b>Redu��o do risco</b> <b>de</b> <b>sobreaquecimento</b> <b>(%)</b>
<b>T<sub>int</sub>=18��C</b>	83	73	50	20
<b>T<sub>int</sub>=20��C</b>	80	73	53	24

Com esta análise verificou-se que tal como as localidades anteriores, Bragança e Vila Real, as solu  o  s otimizadas com a aplica  o de XPS são idênticas, o que revela para a reabilita  o deste tipo de edifícios pode seguir-se o mesmo tipo de solu  o  s construtivas.

## Soluções construtivas com isolamento térmico VIP

A Figura 57 representa a análise da necessidade de aquecimento anual. Esta revela que para uma temperatura de conforto interior de 18°C, todas as soluções construtivas cumprem o limite. No entanto, para uma temperatura de conforto interior de 20°C, tal não acontece, uma vez que somente as soluções D e E não ultrapassam o limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>·ano). Sendo assim, as soluções construtivas A, B e C não utilizam energia necessária durante a estação de aquecimento, para uma temperatura de conforto interior de 20°C.

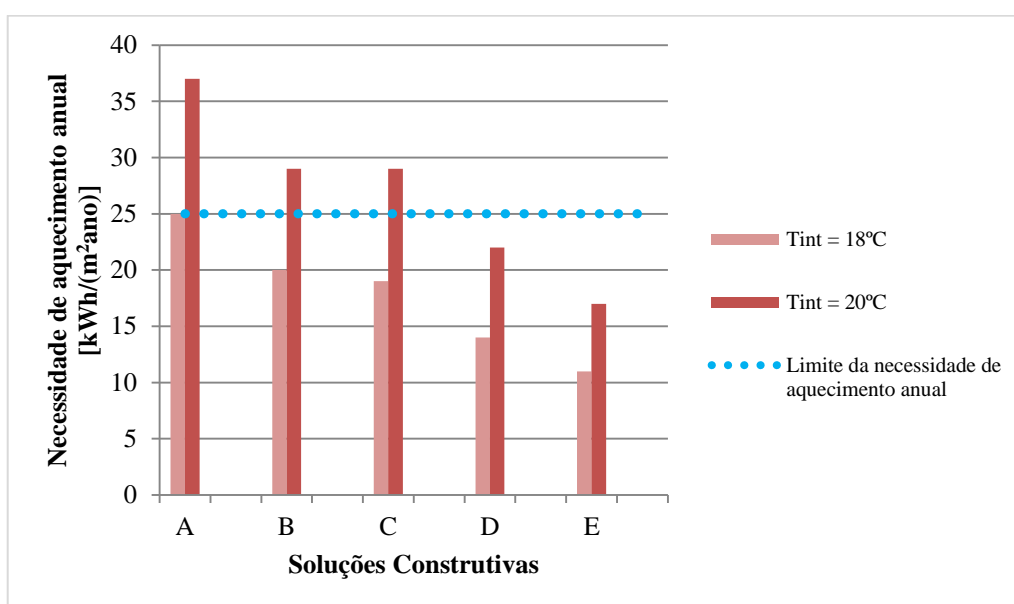


Figura 57 - Necessidade de aquecimento anual para Braga

A Figura 58 revela que para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, a carga de aquecimento é menor na solução E. Esta solução é a que apresenta potência necessária por metro quadrado, para garantir uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C. Também é visível que para uma temperatura de conforto interior de 18°C as soluções B e C apresentam os mesmos valores de carga de aquecimento.

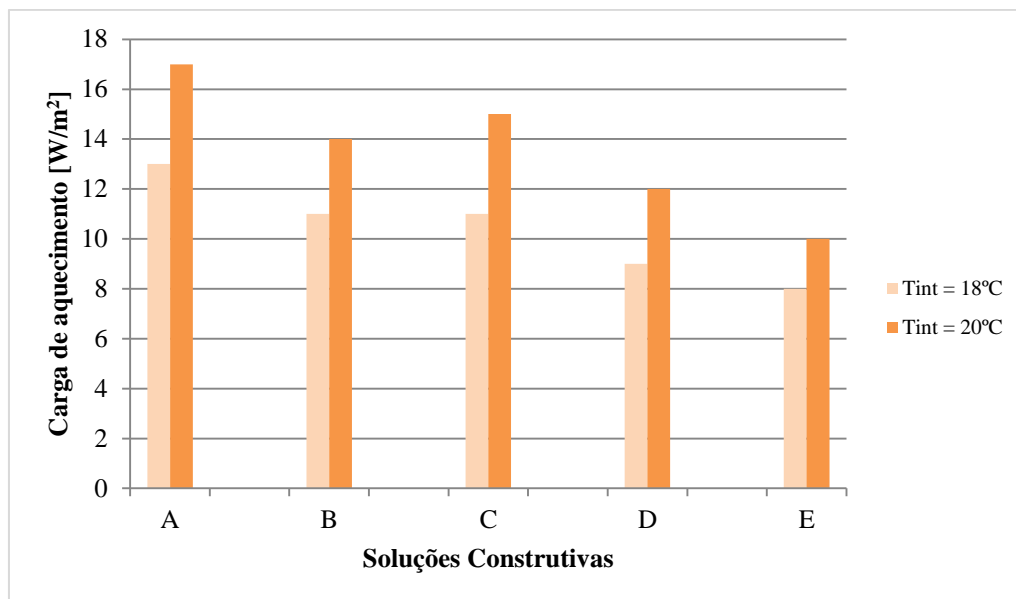


Figura 58 - Carga de aquecimento para Braga

Através da Figura 59 verifica-se que os limites de energia primária para cada caso são respeitados para as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C.

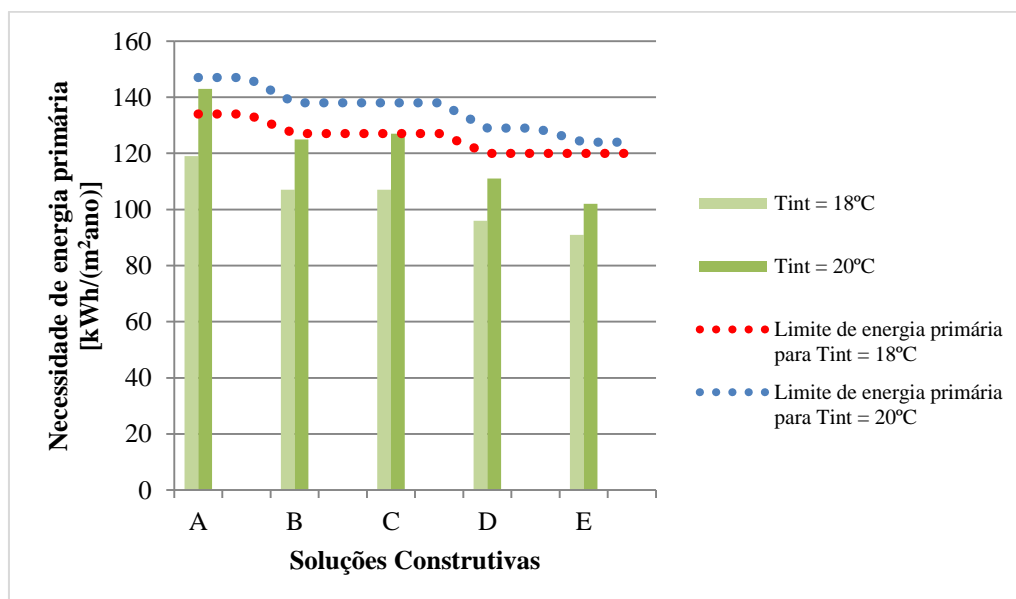


Figura 59 - Necessidade de energia primária para Braga

A Figura 60 representa o risco de sobreaquecimento para Braga. Pode observar-se que as soluções construtivas cumprem o limite de 10% do risco de sobreaquecimento, durante a estação de arrefecimento.

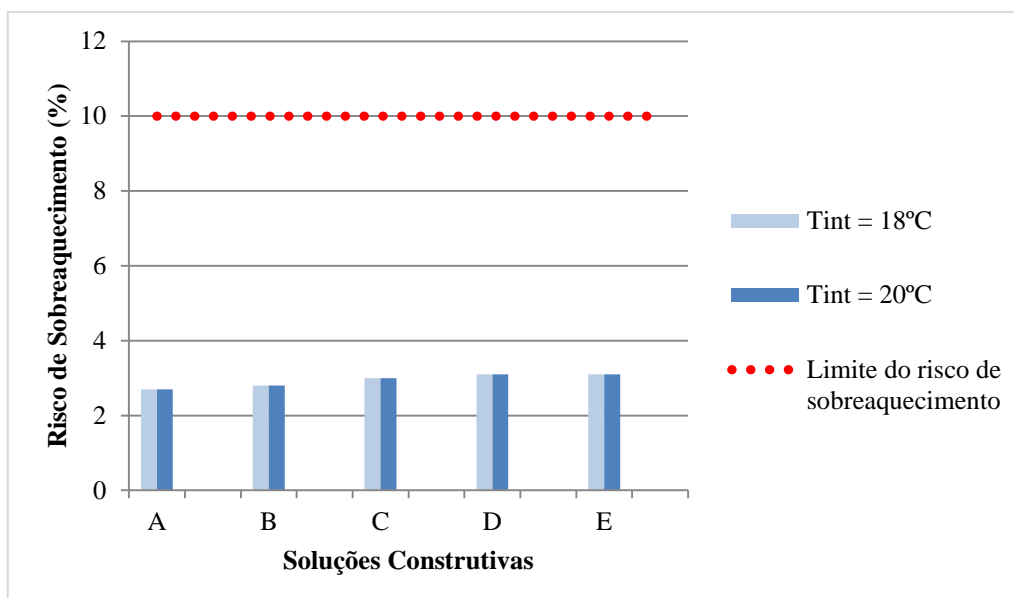


Figura 60 - Risco de sobreaquecimento para Braga

A Tabela 30 apresenta a síntese dos resultados da solução D, uma vez que cumpre os limites do padrão *EnerPhit*. A cidade de Braga apresenta ao longo da estação de aquecimento temperaturas frias, contudo através desta solução construtiva obteve-se um edifício de baixo consumo de energia. Ao contrário do que acontece com a cidade de Bragança, esta apresenta valores bastantes baixos relativamente à taxa de aquecimento, ou seja, apenas 3,1 % do tempo é que o edifício poderá atingir valores de temperatura interior superiores a 25°C.

Tabela 30 - Requisitos do edifício em Braga

	$T_{int} = 18^{\circ}\text{C}$	$T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	14	2)
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	9	12
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	94	108
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	3,1	3,1

A Tabela 31 representa as reduções das necessidades nominais, entre a solução construtiva original e a solução D. Consta-se que foi obtido reduções elevadas.



Tabela 31 - Reduções das necessidades nominais para Braga

	<b>Redução da necessidade de aquecimento anual (%)</b>	<b>Redução da carga de aquecimento (%)</b>	<b>Redução da necessidade de energia primária (%)</b>	<b>Redução do risco de sobreaquecimento (%)</b>
<b>T<sub>int</sub>=18°C</b>	78	70	48	23
<b>T<sub>int</sub>=20°C</b>	76	70	50	24

#### 5.3.2.4. Edifício *EnerPhit* para Viana do Castelo

Segundo o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH), a cidade de Viana do Castelo está situada numa zona climática I<sub>2</sub>V<sub>2</sub>. Esta apresenta durante a estação de aquecimento e arrefecimento, temperaturas muito semelhantes à cidade de Braga.

Soluções construtivas com isolamento térmico XPS

Para atingir os limites estabelecidos pelo padrão *EnerPhit*, foram propostas várias soluções construtivas, por forma a respeitar esses todos os requisitos.

A Figura 61 representa a análise da necessidade de aquecimento. Pode ver-se que para a temperatura de conforto interior de 18°C todas as soluções construtivas não ultrapassam o limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano). No entanto, para a temperatura de conforto interior de 20°C, apenas as soluções construtivas 5 e 6, ou seja, a energia fornecida durante a estação de aquecimento é suficiente.

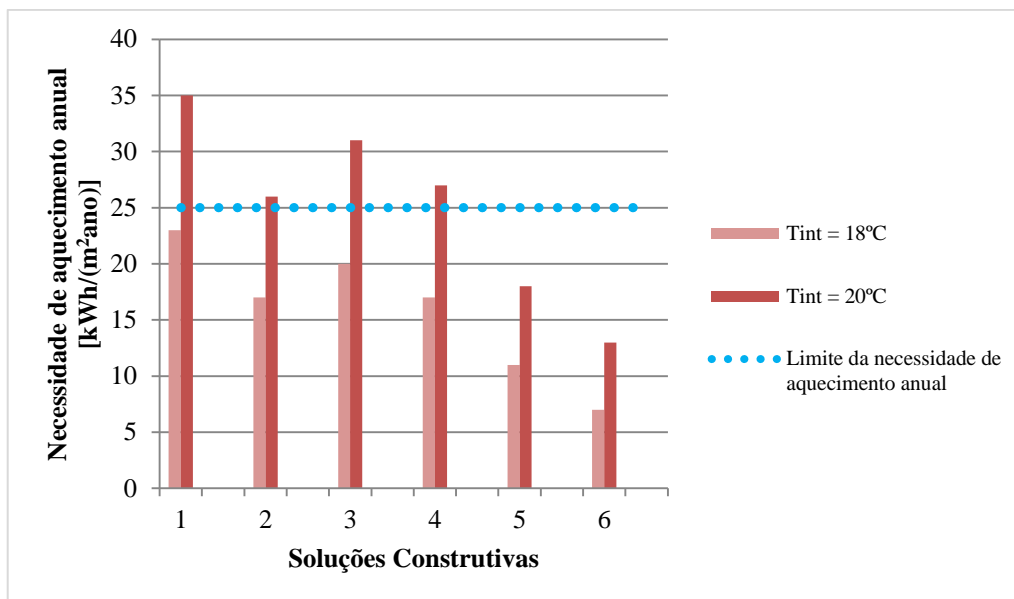


Figura 61 - Necessidade de aquecimento anual para Viana do Castelo

A Figura 62 representa a análise da carga de aquecimento. Pode verificar-se que tanto para uma temperatura de conforto interior de 18°C como para 20°C as soluções construtivas 2, 5 e 6 apresentam valores de carga de aquecimento mais baixos em comparação com as restantes soluções. Isto revela que as soluções 2, 5 e 6 apresentam uma potência por metro quadrado suficiente para atingir uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C.

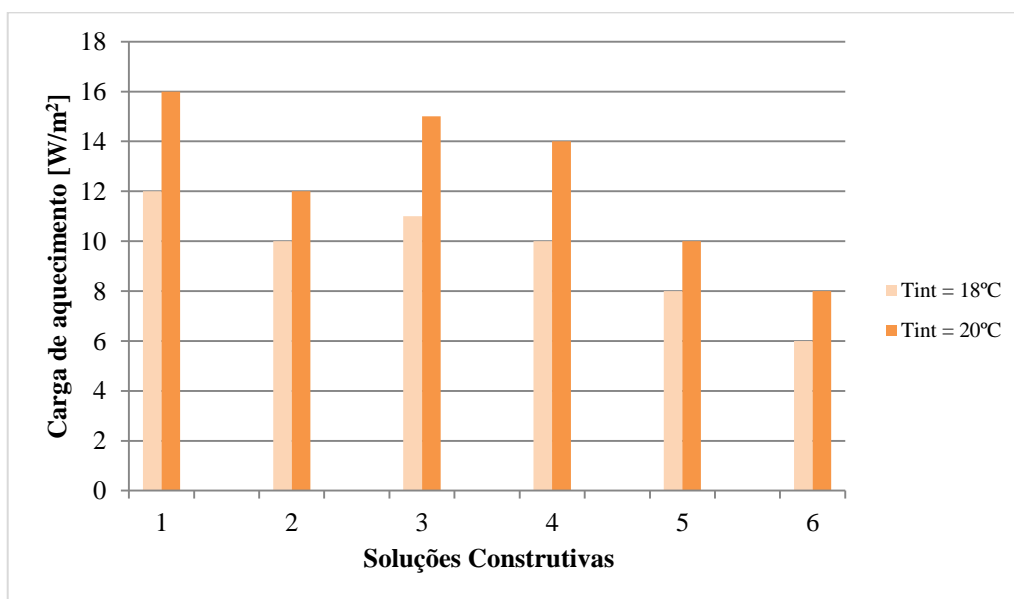


Figura 62 - Carga de aquecimento para Viana do Castelo

A Figura 63 mostra que todas as soluções construtivas não ultrapassam o valor do limite de energia primária para as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, ou seja, as soluções estudadas respeitam o requisito de necessidade de energia primária imposto pelo padrão *EnerPhit*.

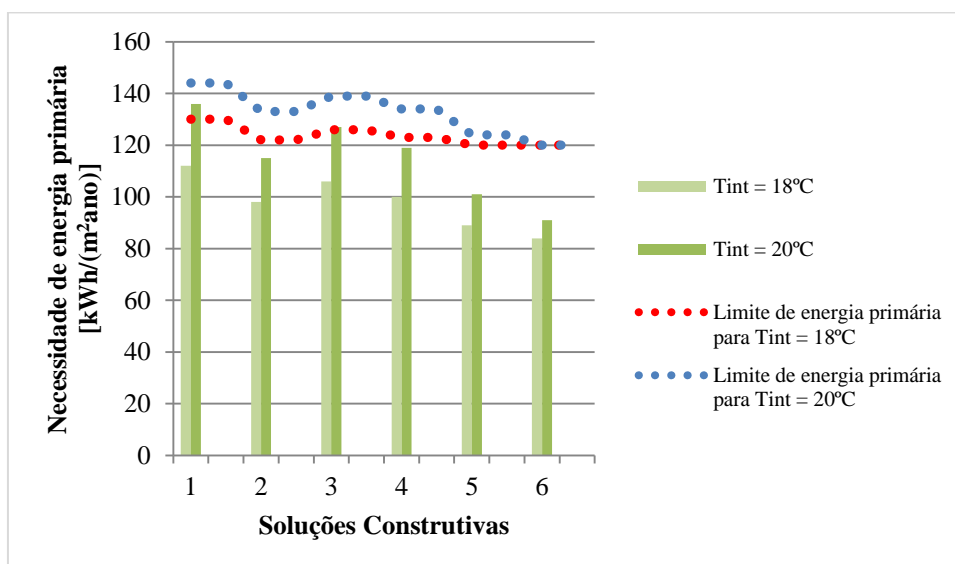


Figura 63 - Necessidade de energia primária para Viana do Castelo

A Figura 64 representa o risco de sobreaquecimento para Viana do Castelo. Foi possível ver que todas as soluções construtivas equacionadas cumprem generosamente o limite de 10% do risco de sobreaquecimento.

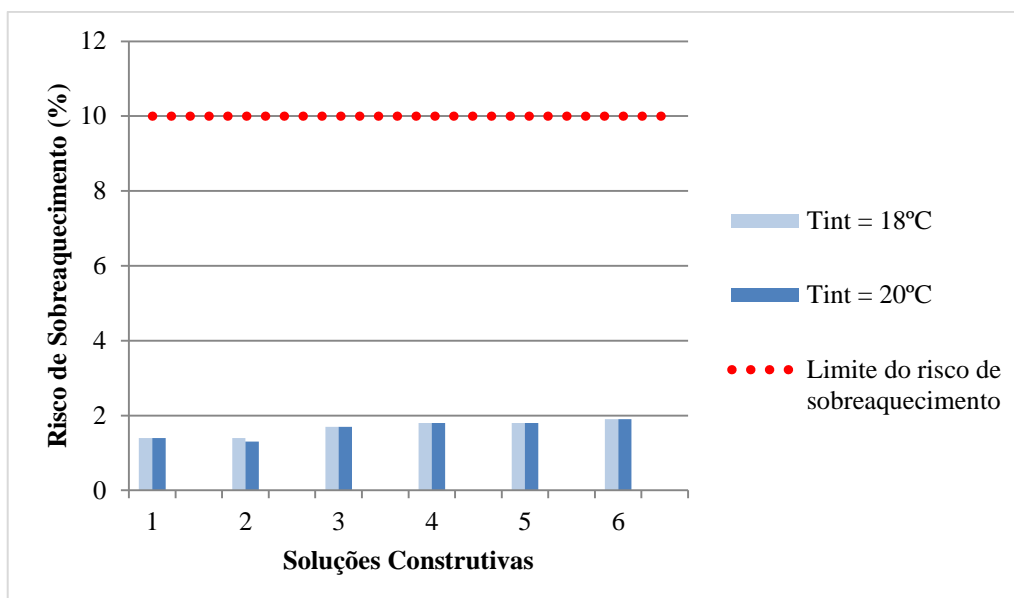


Figura 64 - Risco de sobreaquecimento para Viana do Castelo

De seguida, apresenta-se a súmula dos requisitos atingidos com a adoção da solução 5. Esta é a única solução, para além da solução 6, que satisfaz o padrão *EnerPhit*, para a temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C. Através destas soluções conseguiu obter-se um edifício de baixo consumo energético, como se pode observar através da Tabela 32. Estes valores mostram que o conforto interior do edifício será elevado mesmo para temperaturas exteriores reduzidas, características da cidade durante o inverno. Com o aumento de isolamento e utilização de uma solução envidraçada com vidro triplo as perdas da envolvente baixaram e, conseqüentemente, a necessidade de aquecimento também. O risco de sobreaquecimento é muito reduzido.

Tabela 32 - Requisitos do edifício para Viana do Castelo

	T <sub>int</sub> = 18°C	T <sub>int</sub> = 20°C
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	11	18
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	8	10
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	89	101
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	1,9	1,8

A Tabela 33 indica as reduções das necessidades nominais anuais entre a solução construtiva original e a solução 5. Verifica-se que para ambas as temperaturas de conforto interior, 18°C e 20°C, a redução da necessidade de aquecimento anual, carga de

aquecimento e necessidade de energia primária é satisfatória. No entanto, relativamente ao risco de sobreaquecimento, a redução é nula, dado que este não existia.

Tabela 33 - Reduções das necessidades nominais anuais para Viana do Castelo

	Redução da necessidade de aquecimento anual [%]	Redução da carga de aquecimento [%]	Redução da necessidade de energia primária [%]	Redução do risco de sobreaquecimento [%]
$T_{int}=18^{\circ}\text{C}$	83	72	51	0
$T_{int}=20^{\circ}\text{C}$	80	75	54	0

Tal como para as cidades analisadas anteriormente, Viana do Castelo apresenta a mesma solução construtiva, ou seja, para esta cidade é apresentado o mesmo padrão de reabilitação deste tipo de edifício.

Soluções construtivas com isolamento térmico VIP

A Figura 65 mostra que para uma temperatura de conforto interior de  $18^{\circ}\text{C}$  todas as soluções construtivas estudadas respeitam o limite imposto pelo padrão *EnerPhit*. Para a temperatura de conforto interior de  $20^{\circ}\text{C}$ , tal não acontece, uma vez que apenas as soluções D e E não ultrapassam o limite de  $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$ .

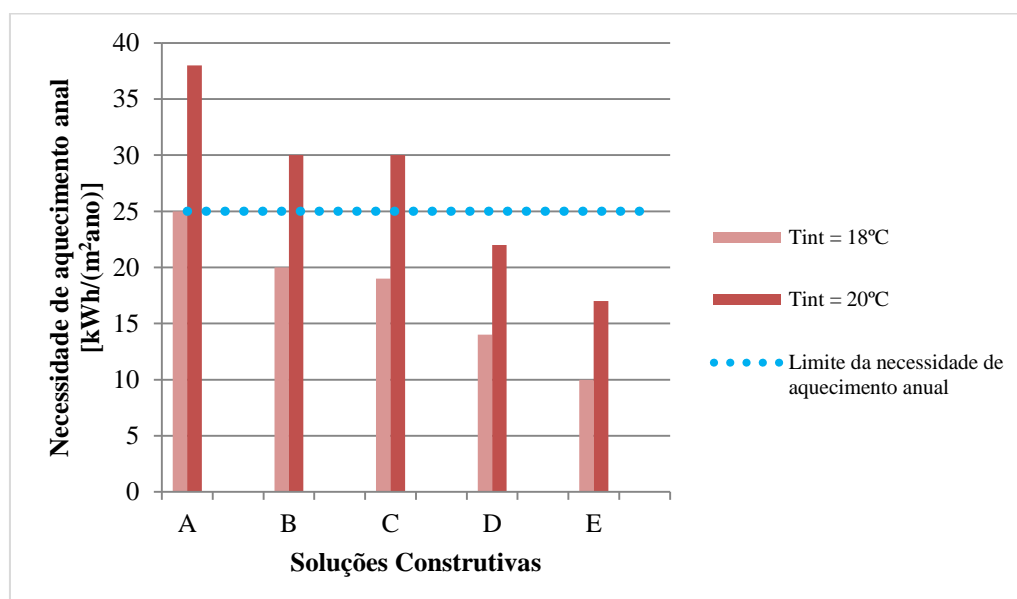


Figura 65 - Necessidade de aquecimento anual para Viana do Castelo

A Figura 66 representa a análise da carga de aquecimento. Pode observar-se que a solução D e E apresentam valores baixos da carga de aquecimento para ambas as temperaturas de conforto interior, 18°C e 20°C. Isto ocorre uma vez que a potência fornecida por metro quadrado garante uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C. A solução B e C apresentam exatamente os mesmos valores.



Figura 66 - Carga de aquecimento para Viana do Castelo

A Figura 67 corresponde à análise da necessidade de energia primária. Pode verificar-se que o limite para uma temperatura de conforto interior de 18°C e de 20°C é respeitado pelas soluções construtivas efetuadas, ou seja, o padrão *EnerPhit* é cumprido relativamente à necessidade de energia primária.

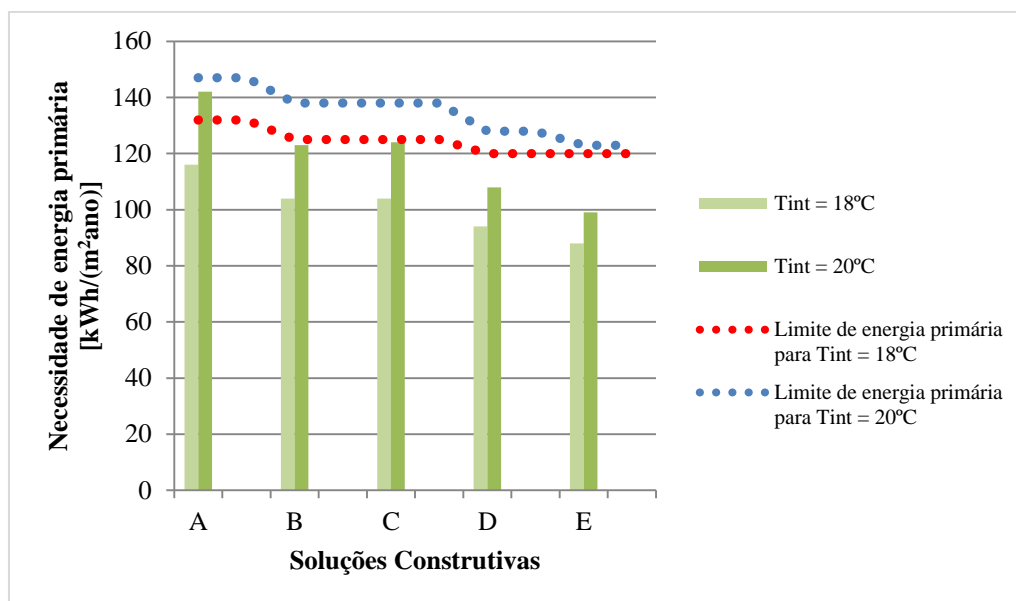


Figura 67 - Necessidade de energia primária para Viana do Castelo

A Figura 68 indica o risco de sobreaquecimento para Viana do Castelo. É visível que para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, nenhuma solução construtivas ultrapassa o valor limite de 10%, uma vez que, todas apresentam valores inferiores a 2%.

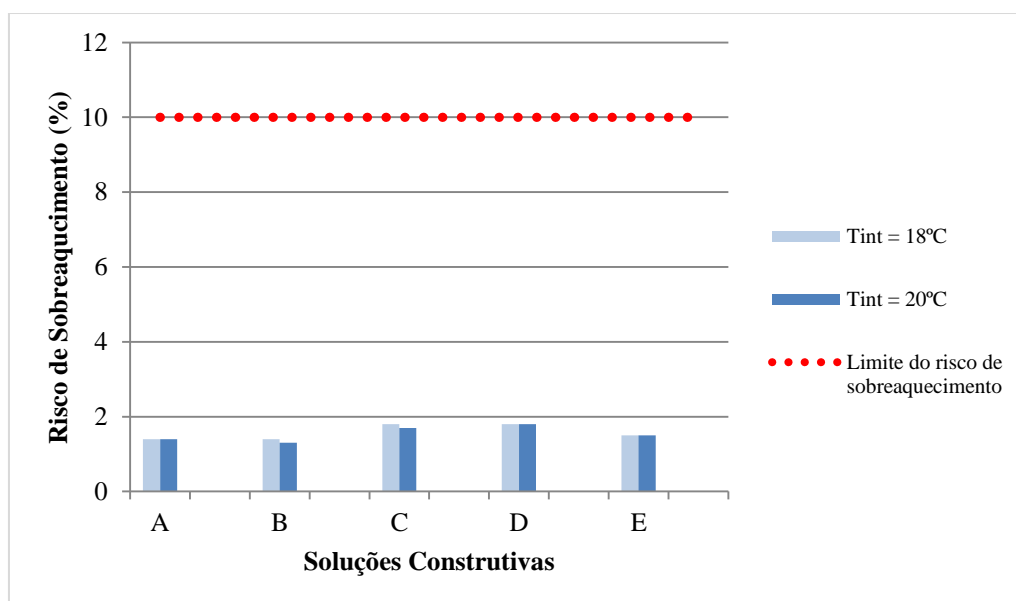


Figura 68 - Risco de sobreaquecimento para Viana do Castelo

De uma forma sucinta é apresentada a Tabela 34 que corresponde à solução construtiva D. Esta solução foi a selecionada, uma vez que respeita os limites do padrão *EnerPhit*, e comparativamente à solução E, esta apresenta menos 0,5 cm de espessura de isolamento

VIP. É possível verificar que os requisitos do edifício para Viana do Castelo é exatamente igual aos requisitos da cidade de Braga, exceto para o sobreaquecimento do edifício. Para a cidade de Viana do Castelo, o risco de sobreaquecimento é muito reduzido, ou seja, apenas 1,8% do tempo será superior à temperatura de 25°C durante a estação de arrefecimento.

Tabela 34 - Requisitos do edifício para Viana do Castelo

	$T_{int} = 18^{\circ}\text{C}$	$T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	14	22
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	9	12
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	94	108
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	1,8	1,8

A Tabela 35 representa as reduções das necessidades de energia primária para Viana do Castelo, entre a solução construtiva original e a solução D. Pode observar-se que as reduções são elevadas, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C.

Tabela 35 - Reduções das necessidades de energia primária para Viana do Castelo

	<b>Redução da necessidade de aquecimento anual [%]</b>	<b>Redução da carga de aquecimento [%]</b>	<b>Redução da necessidade de energia primária [%]</b>	<b>Redução do risco de sobreaquecimento [%]</b>
$T_{int}=18^{\circ}\text{C}$	78	60	48	21
$T_{int}=20^{\circ}\text{C}$	76	70	51	21

### 5.3.2.5. Edifício *EnerPhit* para Viseu

A cidade de Viseu está situada numa zona climática I<sub>2</sub>V<sub>2</sub>, segundo o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH). Esta tem um clima severo no inverno, atingindo temperaturas abaixo dos 0°C, tal como as cidades de Bragança e Vila Real.

Soluções construtivas com isolamento térmico XPS

A Figura 69 representa a análise da necessidade de aquecimento anual. Verifica-se que para a temperatura de conforto interior de 18°C todas as soluções construtivas cumprem o



limite do padrão *EnerPhit*. No entanto, para uma temperatura de conforto interior de 20°C isso não acontece, uma vez que as soluções 1 e 3 ultrapassam o limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano), ou seja, a energia fornecida não é suficiente para atingir uma temperatura de conforto interior de 20°C.

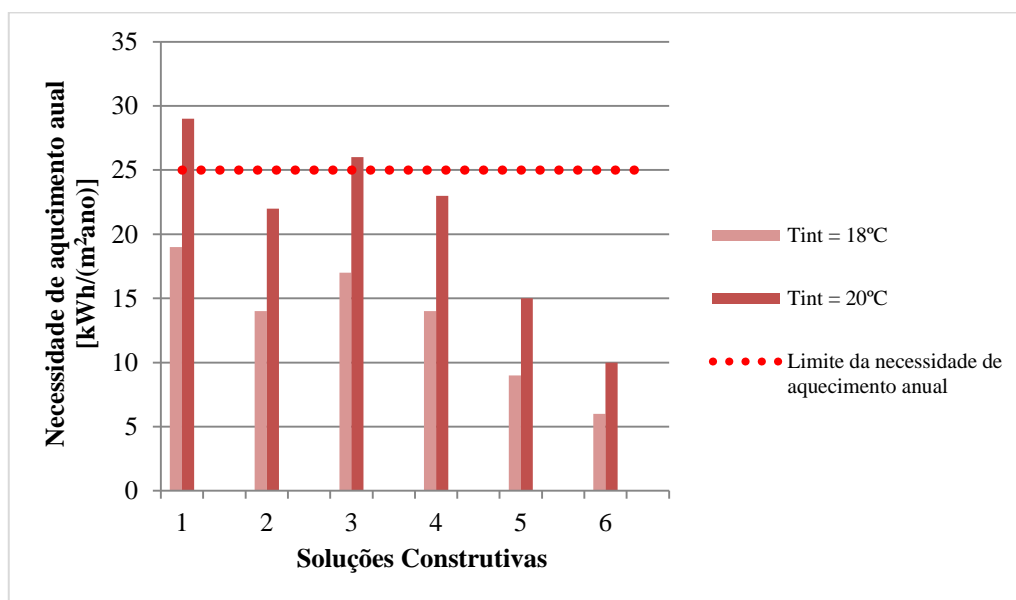


Figura 69 - Necessidade de aquecimento para Viseu

A Figura 70 representa a análise da carga de aquecimento. As soluções construtivas que apresentam valores mais baixos de carga de aquecimento são a solução 2, 5 e 6, o que revela que estas soluções apresentam uma potência por metro quadrado suficiente para garantir uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C.

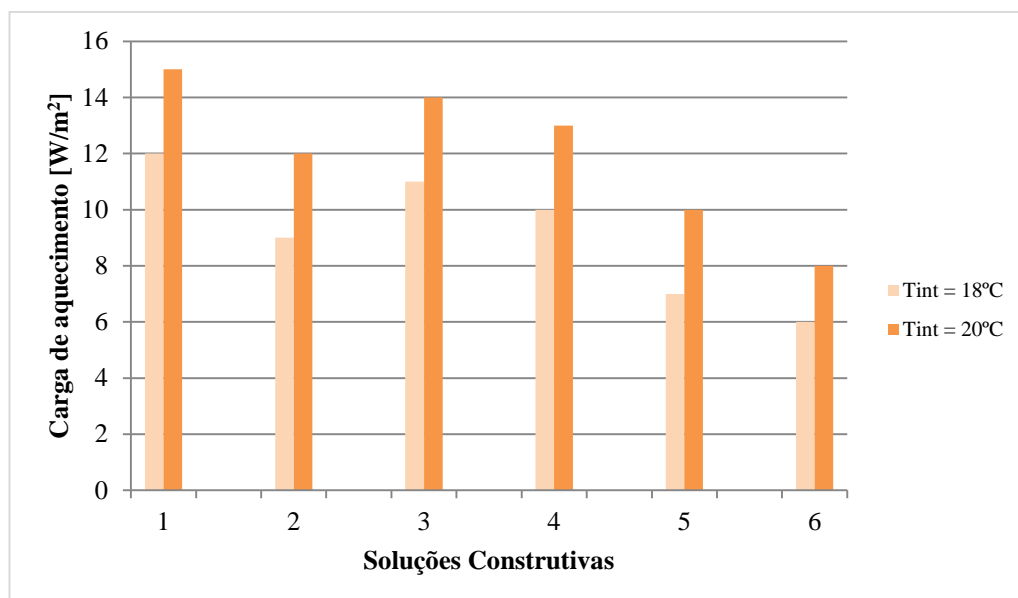


Figura 70 - Carga de aquecimento para Viseu

A Figura 71 representa a análise da necessidade de energia primária. Pode ver-se que para todas as soluções construtivas estudadas nenhuma ultrapassa o valor limite da necessidade de energia primária, ou seja, relativamente às soluções estudadas foi cumprido o requisito imposto pelo padrão *EnerPhit*.

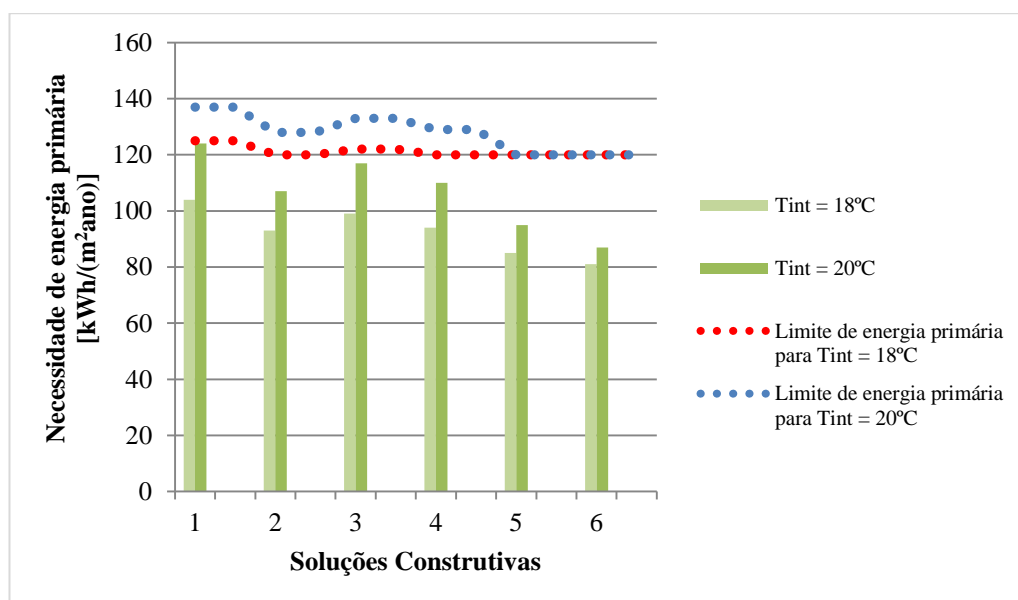


Figura 71 - Necessidade de energia primária para Viseu

A Figura 72 mostra o risco de sobreaquecimento para Viseu para as diferentes soluções construtivas. Verifica-se que todas as soluções construtivas não ultrapassam o limite de 10%.

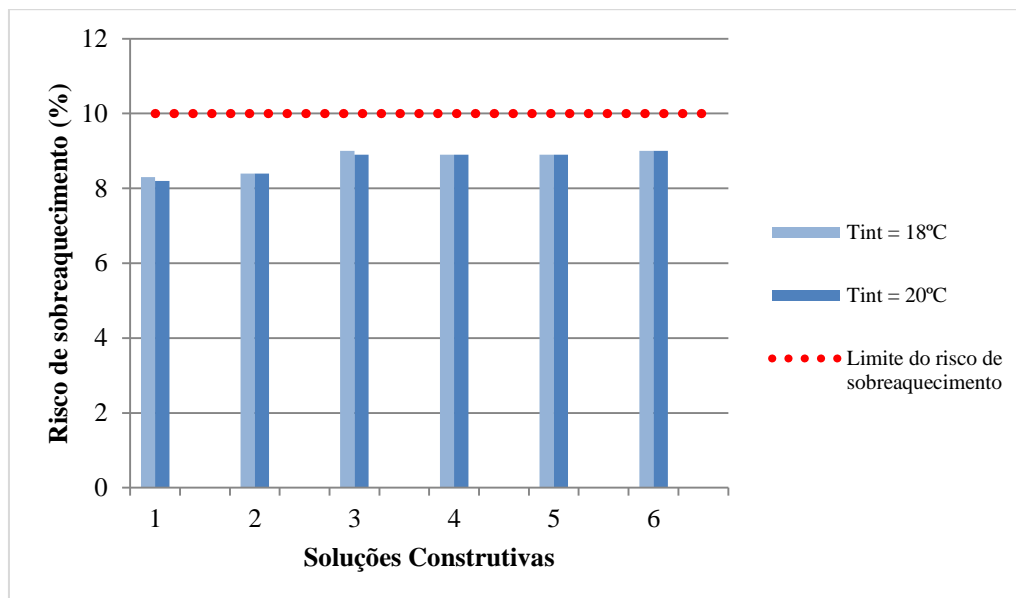


Figura 72 - Risco de sobreaquecimento para Viseu

Segue-se a súmula dos requisitos atingidos com a adoção da solução 4. Esta solução foi a escolhida, uma vez que é a solução que respeita os limites do padrão *EnerPhit* para uma temperatura interior de 18°C e 20°C. Apesar da solução 5 e 6 também cumprirem os limites do padrão, não foram escolhidas, porque era necessário a aplicação de maiores espessuras de isolamento térmico, entre 5 cm a 10 cm, o que iria diminuir significativamente a área útil das frações. A cidade de Viseu tem temperaturas durante o inverno baixas, atingindo valores negativos e com o aumento de isolamento e a aplicação de envidraçados com melhores características a necessidade de aquecimento anual diminui. Contudo, o risco de sobreaquecimento é de 8,9 %, o que mostra que a temperatura interior durante a estação de arrefecimento será 8,9 % do tempo superior a 25°C (Tabela 36).

Tabela 36 - Requisitos do edifício para a Viseu

	$T_{\text{int}} = 18^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	14	23
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	10	13
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	94	110
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	8,9	8,9

A Tabela 37 mostra as reduções das necessidades energéticas para Viseu, entre a solução construtiva original e a solução 4. As reduções são satisfatórias para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C.

Tabela 37 - Reduções das necessidades nominais anuais para Viseu

	<b>Redução da necessidade de aquecimento anual [%]</b>	<b>Redução da carga de aquecimento [%]</b>	<b>Redução da necessidade de energia primária [%]</b>	<b>Redução do risco de sobreaquecimento [%]</b>
$T_{\text{int}}=18^{\circ}\text{C}$	74	64	28	8
$T_{\text{int}}=20^{\circ}\text{C}$	71	66	44	8

#### Soluções construtivas com isolamento térmico VIP

Foi efetuado um estudo com soluções com isolamento térmico VIP com o objetivo de reduzir ao máximo a espessura de isolamento térmico.

A Figura 73 apresenta a análise da necessidade de aquecimento anual. Pode verificar-se para a temperatura de conforto interior de 18°C todas as soluções construtivas não ultrapassam o limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Em contrapartida, para a temperatura de conforto interior de 20°C apenas as soluções D e E cumprem o padrão *EnerPhit*. Significa que a energia fornecida é suficiente para garantir uma temperatura de conforto interior de 20°C.

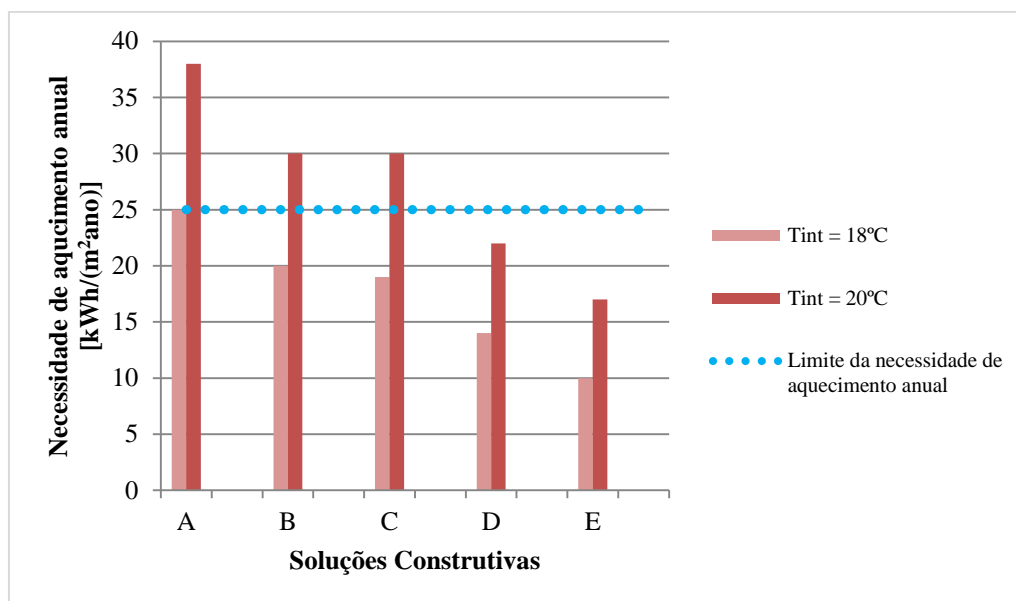


Figura 73 - Necessidade de aquecimento anual para Viseu

A Figura 74 corresponde à análise da carga de aquecimento. As soluções B, D e E apresentam os valores mais baixos para carga de aquecimento, o que revela que a potência fornecida por metro quadrado é suficiente para atingir uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C.

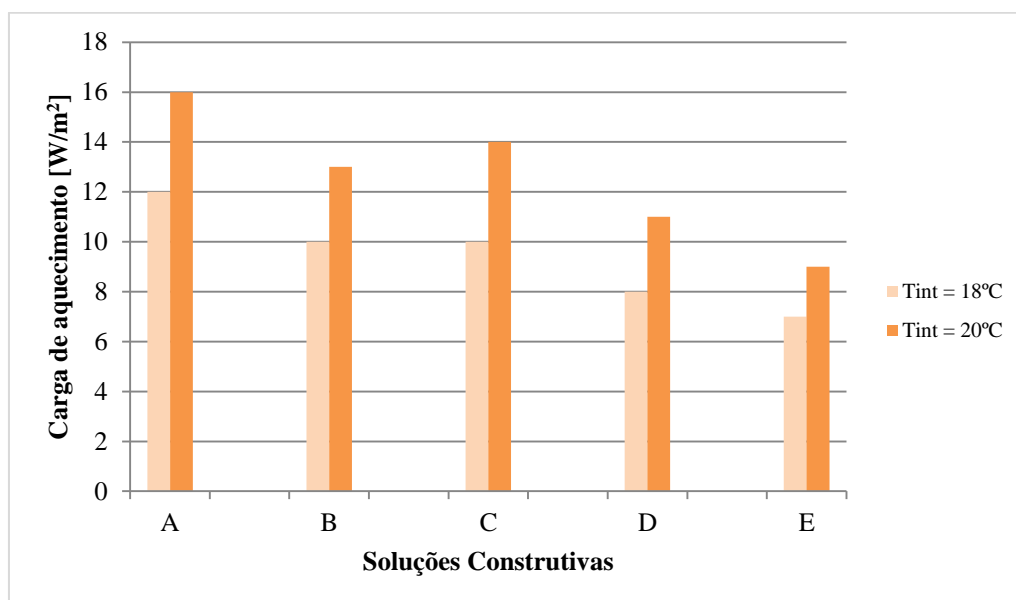


Figura 74 - Carga de aquecimento para Viseu

A Figura 75 corresponde à análise da necessidade de energia primária. Pode observar-se que os limites de temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C não são ultrapassados, o

que significa que para a necessidade de energia primária os requisitos do padrão *EnerPhit* são cumpridos.

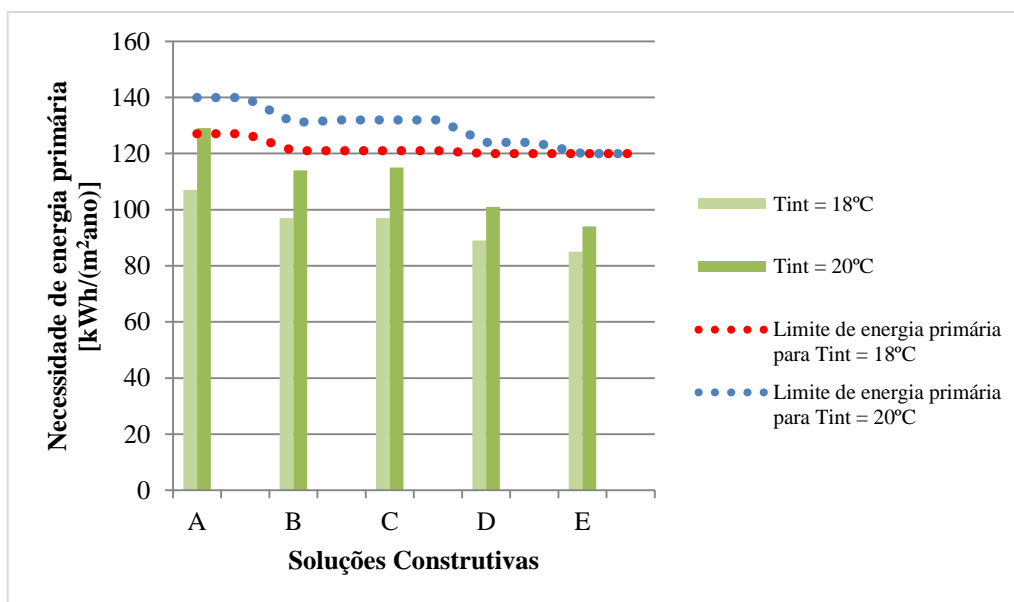


Figura 75 - Necessidade de energia primária para Viseu

A Figura 76 indica a percentagem do risco de sobreaquecimento para Viseu. Através das soluções construtivas equacionadas, pode observar-se que nenhuma ultrapassa o limite de 10%.

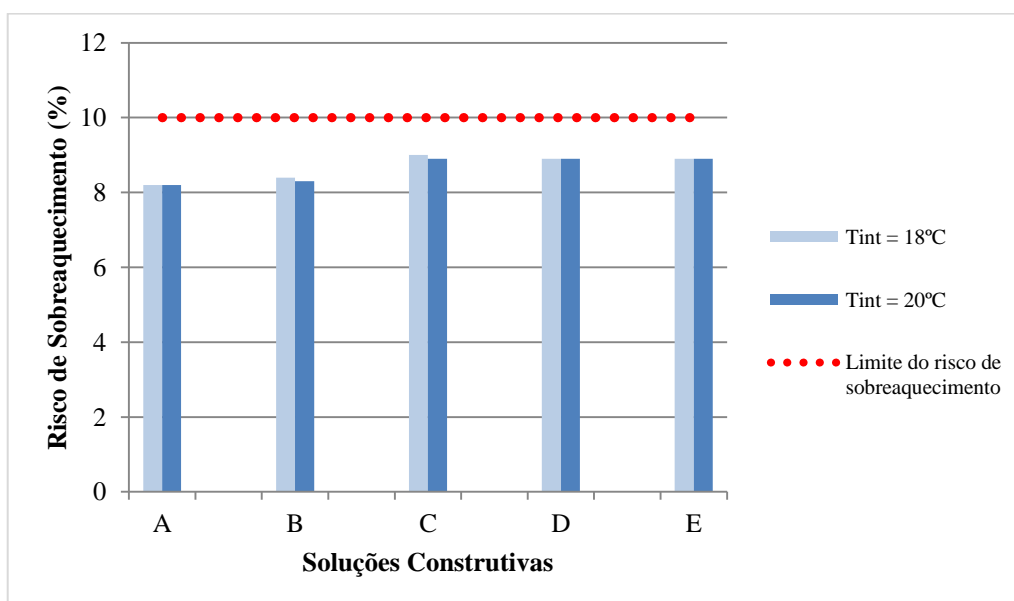


Figura 76 - Risco de sobreaquecimento para Viseu

A Tabela 38 apresenta a síntese dos resultados da solução D, uma vez que cumpre os limites do padrão *EnerPhit*. Através desta solução construtiva obteve-se um edifício com baixo consumo de energia.

Tabela 38 - Requisitos do edifício para Viseu

	<b>T<sub>int</sub> = 18°C</b>	<b>T<sub>int</sub> = 20°C</b>
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	14	22
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	8	11
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	89	101
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	8,9	8,9

A Tabela 39 indica as reduções das necessidades nominais anuais para Viseu, entre a solução construtiva original e a solução D. Pode verificar-se que as reduções são satisfatórias para as necessidades de aquecimento anual, carga de aquecimento, necessidade de energia primária e o risco de sobreaquecimento.

Tabela 39 - Reduções das necessidades nominais anuais para Viseu

	<b>Redução da necessidade de aquecimento anual [%]</b>	<b>Redução da carga de aquecimento [%]</b>	<b>Redução da necessidade de energia primária [%]</b>	<b>Redução do risco de sobreaquecimento [%]</b>
<b>T<sub>int</sub>=18°C</b>	81	75	48	9
<b>T<sub>int</sub>=20°C</b>	78	76	52	9

#### 5.3.2.6. Edifício *EnerPhit* para Guarda

Segundo o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH), a cidade da Guarda está situada numa zona climática I<sub>3</sub>V<sub>2</sub>. Esta cidade tem um clima quase idêntico à cidade de Bragança e Vila Real, tendo estas um clima muito severo.

## Soluções construtivas com isolamento térmico XPS

Este estudo tem como principal objetivo atingir os limites exigidos pelo padrão *EnerPhit*. Para tal analisou-se a aplicação das soluções anteriormente definidas para atingir o padrão *Enerphit*.

A Figura 77 corresponde à análise da necessidade de aquecimento anual. Esta mostra que nenhuma solução construtiva cumpre o padrão *EnerPhit* relativamente à necessidade de aquecimento anual para a temperatura de conforto interior de 20°C, sendo que a solução 6 é a que está mais perto de cumprir o padrão, com um valor de 26 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Para uma temperatura de conforto interior de 18°C, apenas a solução 6 não ultrapassa o valor limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano).

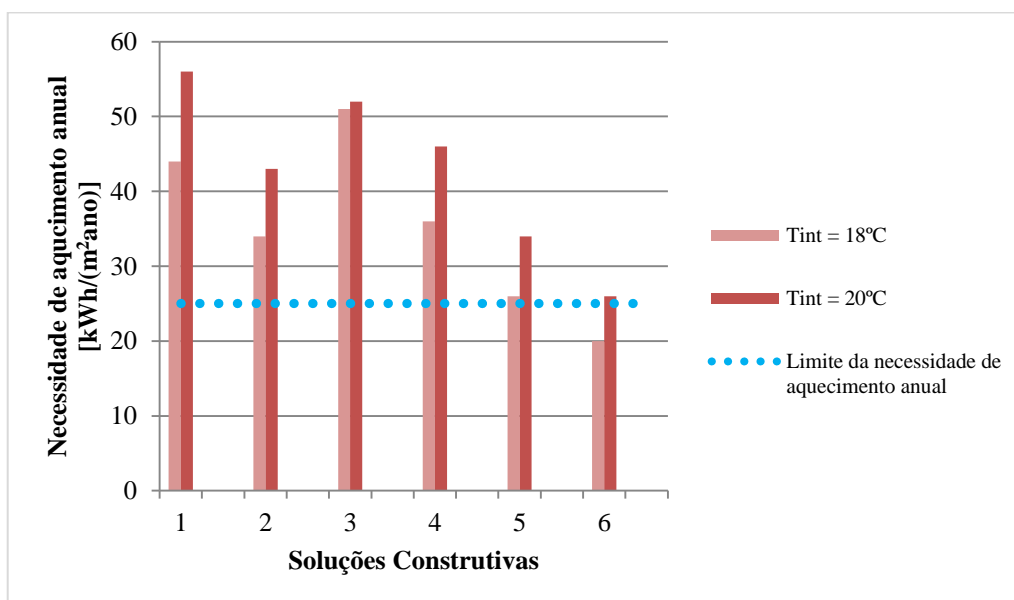


Figura 77 - Necessidade de aquecimento anual para a Guarda

A Figura 78 corresponde à análise da carga de aquecimento. Verifica-se que as soluções construtivas 1, 3 e 4 são as que apresentam maiores valores de carga de aquecimento, o que revela que são as que a potência fornecida por metro quadrado é suficiente para atingir uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C.



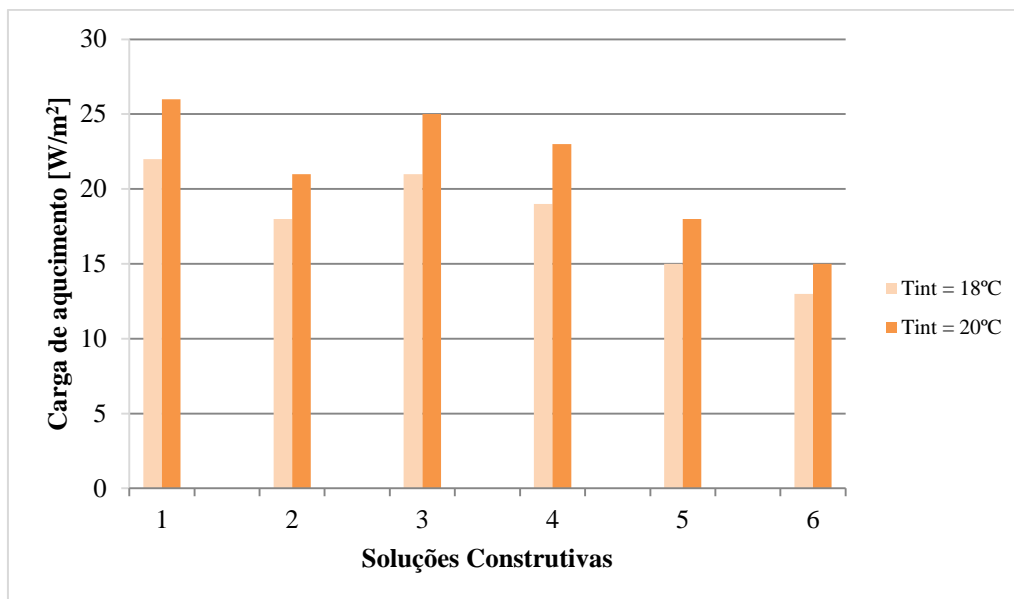


Figura 78 - Carga de aquecimento para a Guarda

A Figura 79 mostra que as soluções construtivas 1, 2, 3 e 4 não respeitam o limite de energia primária. A solução 4 respeita o limite para uma temperatura de conforto interior de 18°C, cujo valor é de 133 kWh/m²a. Para uma temperatura de conforto interior de 20°C apenas a solução 6 respeita o limite exigido pelo padrão *EnerPhit*.

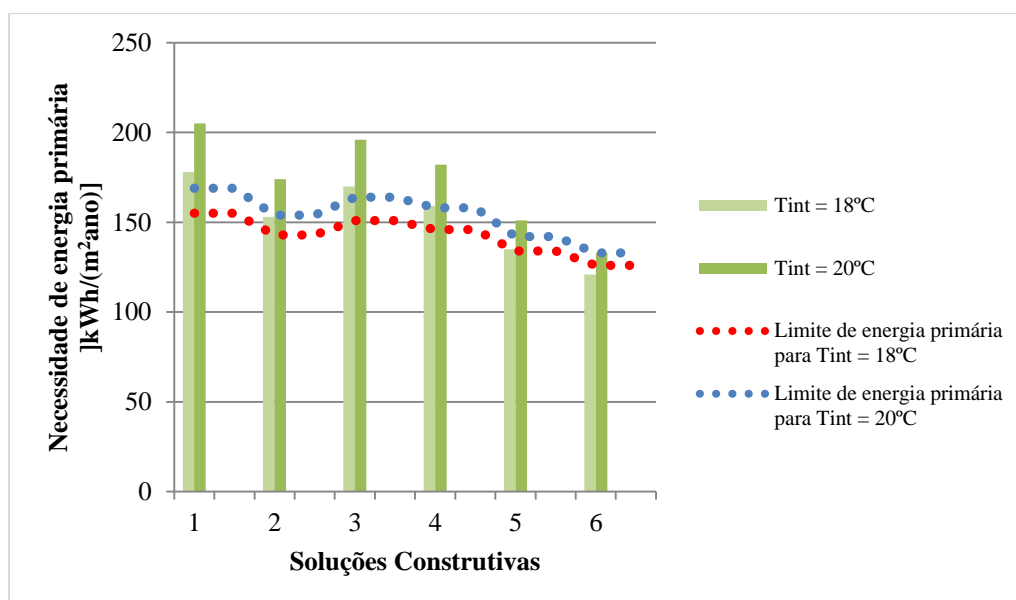


Figura 79 - Necessidade de energia primária para a Guarda

A Figura 80 mostra o risco de sobreaquecimento para a Guarda. Verifica-se que todas as soluções construtivas respeitam o limite do risco de sobreaquecimento, sendo o valor mais elevado, para a solução 6, com 8,8%.

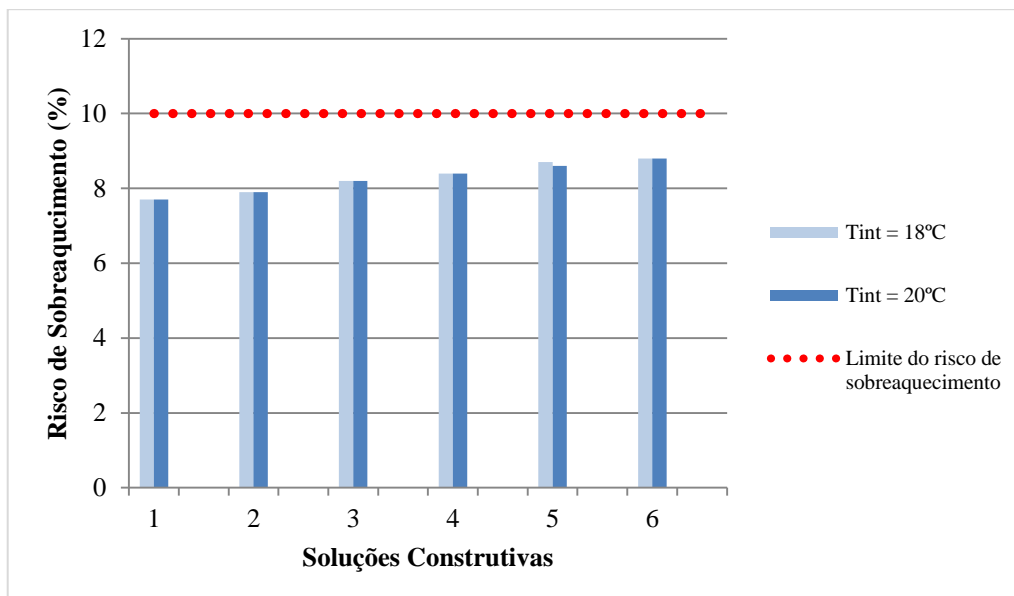


Figura 80 - Risco de sobreaquecimento para a Guarda

De seguida, apresenta-se a súmula dos requisitos atingidos com a adoção da solução 6. É importante referir que a solução 6 respeita os limites impostos pelo padrão *EnerPhit* para uma temperatura interior de 18°C, no entanto para uma temperatura de conforto interior de 20°C, tal não acontece, uma vez que a necessidade de aquecimento anual é de 26 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Para a necessidade de energia primária, o limite é respeitado, uma vez que este é igual ao valor obtido, ou seja, de 133 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Com o aumento de isolamento e a aplicação de um envidraçado com características mais favoráveis, a necessidade de aquecimento anual diminuiu. Contudo, o risco de sobreaquecimento é de 8,8 %, o que revela que a temperatura interior durante a estação de arrefecimento será 8,8 % do tempo superior a 25°C (Tabela 40).

Tabela 40 - Requisitos do edifício para a Guarda

	T <sub>int</sub> = 18°C	T <sub>int</sub> = 20°C
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	20	26
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	13	15
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	121	133
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	8,8	8,8

A Tabela 41 indica as reduções efetuadas entre a solução construtiva original e a solução 6, para a cidade da Guarda. É visível que as reduções são satisfatórias, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, exceto para o risco de sobreaquecimento. Na Tabela 41 não é indicada o valor da redução do risco de sobreaquecimento, uma vez que este aumentou, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, apresentando o valor de 8,8%. Esse aumento deve-se ao facto de o edifício ter uma espessura elevada de isolamento térmico XPS, uma vez que este guarda tanto o frio como o calor. Ao entrar energia através dos envidraçados, este é difícil de sair devido a essa elevada espessura de isolamento. Durante a estação de arrefecimento, essa energia prejudica o conforto interior, aumentando assim a percentagem de sobreaquecimento.

Tabela 41 - Reduções das necessidades nominais anuais para a Guarda

	<b>Redução da necessidade de aquecimento anual [%]</b>	<b>Redução da carga de aquecimento [%]</b>	<b>Redução da necessidade de energia primária [%]</b>	<b>Redução do risco de sobreaquecimento [%]</b>
<b>T<sub>int</sub>=18°C</b>	82	74	55	-
<b>T<sub>int</sub>=20°C</b>	81	75	59	-

#### Soluções construtivas com isolamento térmico VIP

Como não foi possível cumprir as exigências do padrão foi necessário utilizar outro tipo de isolamento. Para cumprir essas exigências utilizaram-se painéis de isolamento a vácuo.

A Figura 81 representa a análise da necessidade de aquecimento anual. Pode verificar-se que para além da solução E com uma temperatura de conforto interior de 18°C nenhuma solução construtiva respeita o limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Para uma temperatura de conforto interior de 20°C nenhuma solução construtiva respeita o limite imposto pelo padrão *EnerPhit*, ou seja, a otimização das soluções construtivas não foram suficientes.

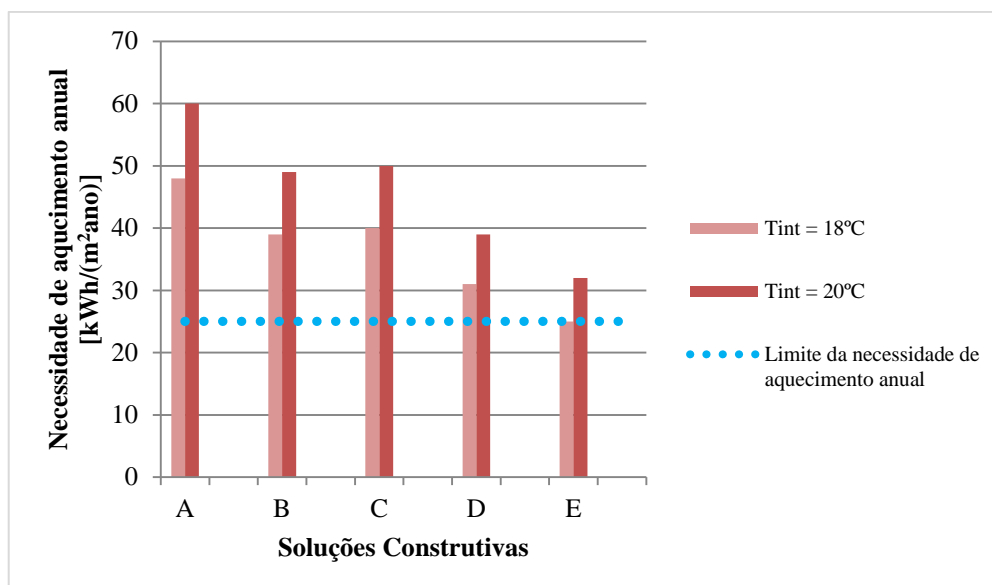


Figura 81 - Necessidade de aquecimento anual para a Guarda

A Figura 82 corresponde à análise da carga de aquecimento. Pode observar-se que para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, as soluções construtivas B, D e E são as que apresentam valores mais baixos de carga de aquecimento. Isto revela que a potência fornecida por metro quadrado garante uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C. Verifica-se também que para uma temperatura de conforto interior de 18°C, as soluções B e C apresentam exatamente os mesmos valores.

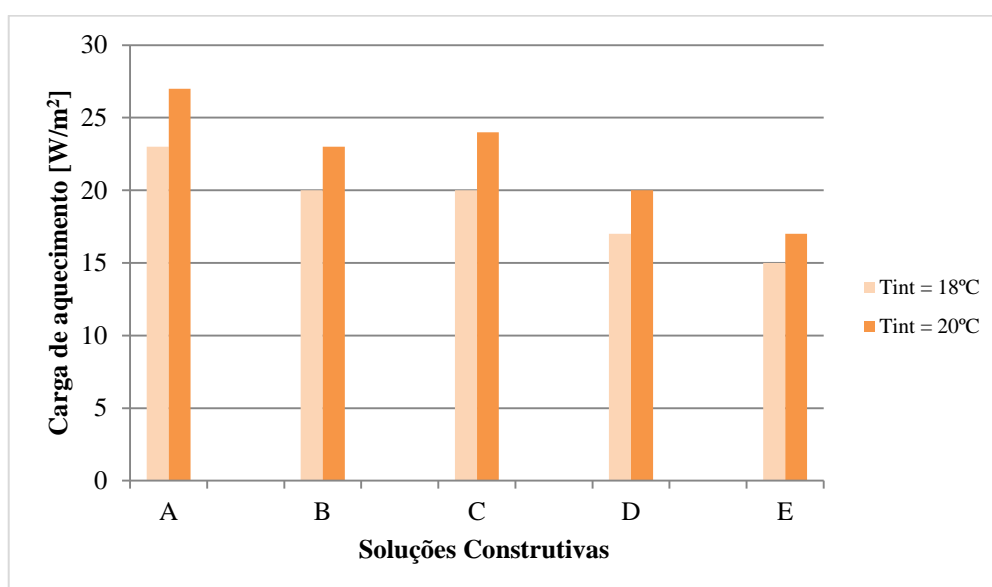


Figura 82 - Carga de aquecimento para a Guarda

A Figura 83 representa a análise da necessidade de energia primária. Verifica-se que a solução construtiva A, B e C não respeitam o limite calculado pelo padrão *EnerPhit*, para ambas as temperaturas interiores. As soluções construtivas D e E respeitam apenas o limite para uma temperatura de conforto interior de 18°C.

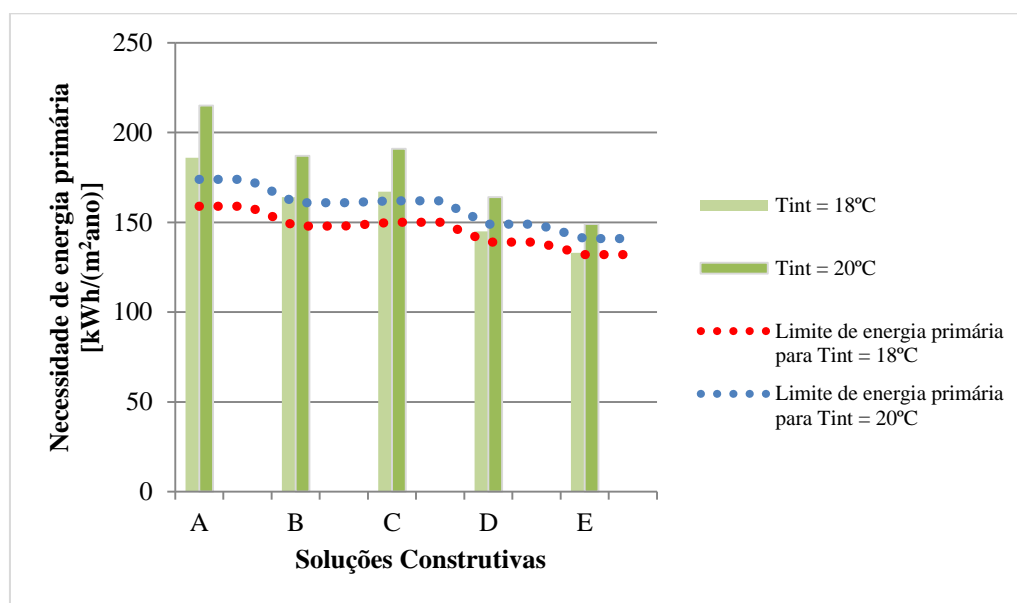


Figura 83 - Necessidade de energia primária para a Guarda

A Figura 84 representa a percentagem do risco de sobreaquecimento para a Guarda. Pode observar-se que nenhuma solução construtiva ultrapassa o valor limite do risco de sobreaquecimento.

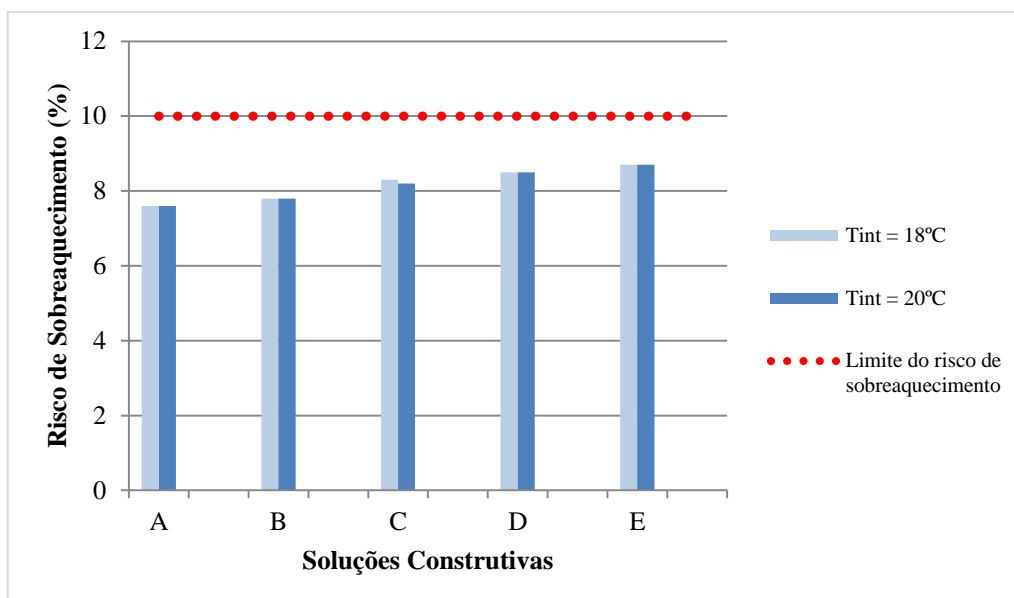


Figura 84 - Risco de sobreaquecimento para a Guarda

Com o auxílio das análises realizadas anteriormente, apresenta-se o resumo dos resultados obtidos através da Tabela 42, que responde à solução E, uma vez que esta é a que apresenta valores que cumprem o padrão *EnerPhit* para uma temperatura de 18°C. Apesar das alterações efetuadas, para uma temperatura de conforto interior de 20°C não foi possível atingir os requisitos mínimos do padrão. A percentagem do risco de sobreaquecimento é de 8,7%, o que revela que durante a estação de arrefecimento, o edifício terá uma temperatura superior a 25°C, durante 8,7% do tempo.

Tabela 42 - Requisitos do edifício para a Guarda

	T <sub>int</sub> = 18°C	T <sub>int</sub> = 20°C
<b>Necessidade de aquecimento anual [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	25	32
<b>Carga de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]</b>	15	17
<b>Necessidade de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)]</b>	133	149
<b>Taxa de sobreaquecimento [%]</b>	8,	8,7

A Tabela 43 indica as reduções das necessidades nominais anuais entre a solução construtiva original e a solução E. As reduções obtidas são satisfatórias, exceto o risco de sobreaquecimento, que não está indicado na Tabela 43, porque houve um aumento do risco de sobreaquecimento para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C, em relação ao edifício original. A justificação de tal acontecimento é o mesmo que referido

anteriormente. Ao entrar energia através dos envidraçados, este é difícil de sair devido a essa elevada espessura de isolamento. Durante a estação de arrefecimento, essa energia prejudica o conforto interior, aumentando assim a percentagem de sobreaquecimento.

Tabela 43 - Reduções das necessidades nominais anuais para a Guarda

	<b>Redução da necessidade de aquecimento anual [%]</b>	<b>Redução da carga de aquecimento [%]</b>	<b>Redução da necessidade de energia primária [%]</b>	<b>Redução do risco de sobreaquecimento [%]</b>
<b>T<sub>int</sub>=18°C</b>	77	70	51	-
<b>T<sub>int</sub>=20°C</b>	76	72	54	-

#### 5.4. Influência da orientação do edifício

O estudo tratado neste subcapítulo traduz a importância relativamente à orientação dos envidraçados a sul. Com as soluções construtivas que melhor representam o aumento da eficiência energética do edifício, alterou-se a orientação do edifício, ou seja, de noroeste para sul. Através dessa alteração realizou-se uma análise das soluções construtivas equacionadas, com o intuito de verificar qual das soluções construtivas respeitava os requisitos do padrão *EnerPhit*, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C.

A Tabela 44 indica as soluções construtivas das localidades para isolamento térmico XPS, corresponde à orientação noroeste e sul. Verifica-se que com a alteração da orientação, as soluções construtivas que cumprem os requisitos do padrão são menos exigentes. Para Bragança, o que modificou foi apenas o tipo de envidraçado, de triplo para duplo. Para as cidades de Vila Real, Braga e Viana do Castelo a redução foi relativamente à aplicação de menos 5 cm de isolamento térmico XPS nas paredes e alteração de envidraçado, de triplo para duplo. Para o Porto houve uma redução de menos 5 cm de isolamento térmico XPS nas paredes. Para Viseu houve apenas redução relativamente ao tipo de envidraçado, de triplo para duplo. Para a cidade da Guarda não houve alterações quanto à solução construtiva, contudo, com a alteração da orientação do edifício, este cumpre os requisitos do padrão *EnerPhit*, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C.

Tabela 44 - Soluções construtivas das localidades para isolamento térmico XPS

	<b>Bragança</b>	<b>Vila Real</b>	<b>Braga</b>	<b>Viana do Castelo</b>	<b>Porto</b>	<b>Viseu</b>	<b>Guarda</b>
<b>Orientação a noroeste</b>	Solução 5	Solução 5	Solução 5	Solução 5	Solução 2	Solução 4	Solução 6
<b>Orientação a sul</b>	Solução 2	Solução 1	Solução 1	Solução 1	Solução 1	Solução 1	Solução 6

Na Tabela 45 segue exatamente o mesmo da tabela anterior, mas para o isolamento térmico VIP. Pode observar-se que com a alteração da orientação, as soluções construtivas apresentadas são menos exigentes. Para Bragança, Vila Real, Braga e Viana do Castelo o que modificou foi apenas o tipo de envidraçado, de triplo para duplo. Para o Porto e Viseu houve uma redução de menos 0,5 cm de isolamento térmico VIP nas paredes e pavimentos e alteração do tipo de envidraçado, de triplo para duplo. Para a cidade da Guarda não houve alterações quanto à solução construtiva, contudo, com a alteração da orientação do edifício, este cumpre o limite de 25 kWh/m<sup>2</sup>a para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Relativamente à necessidade de energia primária, o limite é ultrapassado, para uma temperatura de conforto interior de 20°C.

Tabela 45 - Soluções construtivas das localidades para isolamento térmico VIP

	<b>Bragança</b>	<b>Vila Real</b>	<b>Braga</b>	<b>Viana do Castelo</b>	<b>Porto</b>	<b>Viseu</b>	<b>Guarda</b>
<b>Orientação a noroeste</b>	Solução D	Solução D	Solução D	Solução D	Solução D	Solução D	Solução E
<b>Orientação a sul</b>	Solução B	Solução B	Solução B	Solução B	Solução A	Solução A	Solução E

## 5.5. Síntese de resultados

As soluções construtivas propostas para o edifício em estudo mostram que é possível efetuar a reabilitação deste tipo de edifício segundo requisitos de elevada exigência de desempenho térmico, como o *EnerPhit*. A cidade de Bragança apresenta um clima severo,



pois durante a estação de aquecimento, apresenta temperaturas muito baixas e durante a estação de arrefecimento temperaturas elevadas. Através das várias soluções construtivas estudadas, a solução 5 (isolamento térmico XPS) e a solução D (isolamento térmico VIP) foram as que melhor cumpriam os requisitos do padrão *EnerPhit*, para ambas as temperaturas de conforto interior (18°C e 20°C).

A cidade de Vila Real apresenta um clima muito semelhante à de Bragança. Com o estudo das várias soluções construtivas constatou-se que as soluções que respeitam os requisitos do padrão são as mesmas em Bragança, solução 5 (isolamento térmico XPS) e solução D (isolamento térmico VIP). No entanto, a taxa de sobreaquecimento é mais baixa, apresentando o valor de 7,9%, para as respetivas soluções equacionadas.

Braga é uma cidade, cujo clima não é tão severo como o das duas cidades referidas anteriormente. Contudo, as soluções construtivas que cumprem os requisitos do padrão *EnerPhit* são idênticas, solução construtiva 5 (isolamento térmico XPS) e D (isolamento térmico VIP), para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. O valor das necessidades de aquecimento anual, carga de aquecimento e necessidades de energia primária são praticamente iguais às de Bragança e Vila Real, no entanto, o risco de sobreaquecimento é bastante menor, 3,1%, para as duas soluções construtivas.

A cidade de Viana do Castelo apresenta um clima semelhante à de Braga. As soluções construtivas que cumprem os requisitos do padrão são as soluções 5 (isolamento térmico XPS) e D (isolamento térmico VIP), para ambas as temperaturas de conforto de 18°C e 20°C. Apesar de Viana do Castelo não apresentar temperaturas tão baixas, durante a estação de aquecimento, tal como Bragança e Vila Real, as soluções construtivas são iguais. Contudo, o risco de sobreaquecimento é muito mais baixo, apresentando o valor de 1,8%, para ambas as soluções construtivas.

Em Viseu, apesar de apresentar um clima frio durante a estação de aquecimento, as soluções construtivas que cumprem os requisitos mínimos do padrão *EnerPhit* são a solução 4 (isolamento térmico XPS) e D (isolamento térmico VIP) para temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Para além destas soluções respeitarem os requisitos, o risco de sobreaquecimento é de 8,9%.

Relativamente à cidade da Guarda, com as soluções construtivas equacionadas, não se conseguiu obter os valores limites exigidos do padrão *EnerPhit*, para a temperatura de conforto interior de 20°C. Para uma temperatura de conforto interior de 18°C foi selecionada a solução 6 (isolamento térmico XPS), e E (isolamento térmico VIP), uma vez que os requisitos mínimos do padrão são respeitados, apresentando um valor do risco de sobreaquecimento de 8,8%, para uma temperatura de conforto interior de 18°C, e 8,7%, para uma temperatura de conforto interior de 20°C.

Para além do estudo realizado para as várias localidades, também foi efetuado um estudo relativamente à influência da orientação do edifício. O edifício em estudo tem cerca de 81% dos envidraçados orientados a noroeste. Se o edifício estivesse orientado a sul, os valores das necessidades energéticas seriam mais reduzidos.

Através das Tabelas 44 e 45 verificou-se para as cidades de Bragança, Vila Real, Braga, Porto, Viana do Castelo e Viseu, que as soluções construtivas que cumprem os limites do padrão são menos exigentes, relativamente à espessura de isolamento aplicado e o tipo de envidraçado. Para a cidade da Guarda, as soluções construtivas apresentadas são as mesmas, no entanto, o limite de 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano) não é ultrapassado, para uma temperatura de conforto interior de 18°C e 20°C. Contudo, o limite da necessidade de energia primária para a temperatura de conforto interior de 20°C não respeita o padrão.

Com esta análise relativamente à orientação do edifício, constatou-se que esta tem uma grande importância para atingir os valores das necessidades energéticas, a fim de verificar os requisitos impostos pelo padrão *EnerPhit*.





# *Capítulo 6*

---

CONCLUSÕES



## **6. Conclusões**

### 6.1. Considerações gerais

### 6.2. Perspetivas de trabalhos futuros





## 6. Conclusões

### 6.1. Considerações Finais

A análise efetuada com o REH teve como intuito verificar qual a classe energética que o edifício em estudo tem, considerando os parâmetros definidos pelo projetista. Constatou-se que o edifício em estudo apresenta uma classe energética C.

Foi efetuado o balanço energético do edifício do Porto, através do PHPP8, utilizando os dados do projetista. Embora o requisito de temperatura de conforto interior, segundo o padrão *EnerPhit*, seja 20°C, foi efetuado também o balanço térmico para a temperatura de conforto de 18°C. Esta opção deve-se ao facto de o REH definir como requisito de temperatura de conforto interior os 18°C, assim pode efetuar-se uma análise comparativa dos resultados obtidos. Os dados adquiridos para a necessidade de aquecimento anual é bastante superior ao limite do padrão, sendo que para uma temperatura de conforto interior de 18°C, foi atingido um valor de 58 kWh/(m<sup>2</sup>ano) e para uma temperatura de conforto interior de 20°C, foi atingindo um valor de 87 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Para a necessidade de energia primária, os dados obtidos não respeitam também os limites do padrão *EnerPhit*, apresentando o valor de 172 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para uma temperatura de conforto interior de 18°C e 212 kWh/(m<sup>2</sup>ano), para uma temperatura de conforto de 20°C. Constatou-se que com os dados do projetista, não se obteve um edifício com certificação *EnerPhit*. Para tal, equacionaram-se várias soluções construtivas, a fim de obter a que melhor respeitasse os requisitos do padrão. Após a análise dessas soluções, verificou-se que com a aplicação de painéis solares, caixilharia de madeira com vidro duplo, sistema de recuperador de calor e aplicação de 10 cm de isolamento térmico XPS nas paredes e pavimentos, se conseguiu obter um edifício que respeitasse os requisitos mínimos do padrão. Para uma temperatura de conforto interior de 18°C, a necessidade de aquecimento anual é de 14 kWh/(m<sup>2</sup>ano) e a necessidade de energia primária é de 97 kWh/(m<sup>2</sup>ano). No entanto, para uma temperatura de conforto interior de 20°C, a necessidade de aquecimento anual é de 24 kWh/(m<sup>2</sup>ano) e a necessidade de energia primária é de 114 kWh/(m<sup>2</sup>ano).

Embora as soluções construtivas equacionadas anteriormente permitam cumprir os requisitos *EnerPhit*, o aumento da espessura de isolamento térmico (XPS) das soluções

construtivas leva à redução do espaço interior dos apartamentos, ou seja, a área dos três apartamentos de tipologia T0 irá diminuir significativamente. Para tal, foi utilizado o isolamento térmico VIP com uma condutibilidade de 0,007 W/(mK). Através deste tipo de isolamento conseguiu-se obter um edifício de baixo consumo, com a aplicação de painéis solares, sistema de recuperador de calor, aplicação de 1,5 cm de isolamento térmico VIP nas paredes e nos pavimentos e colocação de caixilharia de madeira com vidro triplo. Para uma temperatura de conforto interior de 18°C, os resultados da necessidade de aquecimento anual foram de 11 kWh/(m<sup>2</sup>ano) e a necessidade de energia primária de 93 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Contudo, para uma temperatura de conforto interior de 20°C, a necessidade de aquecimento anual foi de 19 kWh/(m<sup>2</sup>ano) e a necessidade de energia primária foi de 107 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Verificou-se que com a aplicação do isolamento térmico VIP houve uma redução de 8,5 cm de isolamento térmico.

O segundo estudo realizado corresponde à viabilidade do edifício em estudo noutras localidades do país. Inicialmente foi efetuado o balanço energético utilizando os dados do projetista, para as localidades de Bragança, Vila Real, Braga, Viana do Castelo, Viseu e Guarda. Verificou-se que todas as localidades ultrapassavam os limites dos requisitos do padrão, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. Tal como para a cidade do Porto, também foram equacionadas várias soluções construtivas com isolamento térmico XPS e VIP, com o intuito de obter um edifício de baixo consumo energético.

As cidades de Bragança, Vila Real, Braga e Viana do Castelo apresentam a mesma solução construtiva com a aplicação dos dois tipos de isolamento térmico, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. A solução construtiva efetuada com isolamento térmico XPS corresponde à aplicação de 10 cm de isolamento térmico XPS nas paredes e nos pavimentos, caixilharia de madeira com vidro triplo, colocação de painéis solares e recuperador de calor. Com a aplicação do isolamento térmico VIP há uma redução de 8,5 cm de isolamento, visto que a solução construtiva que respeita os limites do padrão corresponde à aplicação de 1,5 cm de isolamento térmico VIP nas paredes e pavimento, caixilharia de madeira com vidro triplo, colocação de painéis solares e recuperador de calor.

A cidade de Viseu apresenta soluções construtivas semelhantes à das cidades anteriores. A solução construtiva com a aplicação de isolamento térmico XPS corresponde a 5 cm de isolamento térmico XPS nas paredes e 10 cm nos pavimentos, caixilharia de madeira com

vidro triplo, colocação de painéis solares e recuperador de calor. Através da aplicação de isolamento térmico VIP houve uma redução de 8,5 cm de isolamento. A solução construtiva com aplicação de isolamento térmico VIP corresponde à aplicação de isolamento térmico VIP de 1,5 cm nas paredes e nos pavimentos, caixilharia de madeira com vidro duplo, aplicação de painéis solares e recuperador de calor.

Por último, a cidade da Guarda é a única que não se conseguiu obter uma solução construtiva que respeite o padrão *EnerPhit*, para ambas as temperaturas de conforto interior de 18°C e 20°C. A aplicação de 15 cm de isolamento térmico XPS nas paredes e nos pavimentos, caixilharia de madeira com vidro triplo, colocação de painéis solares e recuperador de calor, não foi o suficiente para cumprir os limites do padrão, para uma temperatura de conforto interior de 20°C. No entanto, para uma temperatura de conforto interior de 18°C, a solução construtiva acima referida, cumpre os requisitos do padrão *EnerPhit*. Com a aplicação de isolamento térmico VIP, o mesmo se verificou. Essa solução corresponde à aplicação de 2 cm de VIP nas paredes e nos pavimentos, caixilharia de madeira com vidro triplo, aplicação de painéis solares e recuperador de calor.

Com as análises realizadas anteriormente, foi também importante verificar o quão importante é a orientação de um edifício. Com a alteração da orientação de noroeste para sul, constatou-se que as soluções construtivas obtidas, para as todas as localidades, com certificação *EnerPhit* são menos exigentes, relativamente à espessura do isolamento térmico e ao tipo de envidraçado.

Após estes estudos, verificou-se que é viável a aplicação do padrão *EnerPhit* à reabilitação de um edifício antigo em Portugal. Conseguiu-se adaptar um edifício com uma arquitetura típica da zona norte e centro do país, alcançando um consumo energético reduzido e conforto térmico.

## **6.2. Perspetivas de trabalhos futuros**

O estudo desenvolvido nesta dissertação teve como objetivo evidenciar a reabilitação energética em Portugal. Dado que a construção de edifícios novos no país está praticamente parada, é fundamental investir na reabilitação energética do património habitacional.

A aplicação deste conceito a edifícios residências (escolas, hospitais, escritórios, etc), permitirá avaliar melhor o âmbito da aplicação do conceito *EnerPhit*, com o intuito de obter soluções construtivas padrões de utilização.

A realização de uma análise económica e financeira dos edifícios reabilitados com a certificação *EnerPhit*, permitirá definir qual o período de retorno do investimento adicional e quais as poupanças geradas ao longo da utilização do edifício.





*Referências  
Bibliográficas*

---





## Referências Bibliográficas

ADENE, *Guia eficiência da energia*. 2012

ADENE, *Guia eficiência da energia*. 2013

Appleton, João (2010). Access: Outubro, 2013, from <http://www.neecue.uevora.pt>

Association, I.P.H. *Passipedia*. Access: Maio, 2014, from: <http://www.passipedia.org>.

Banco Europeu de Investimento, 2014. Access: Outubro, 2014, from: [http://www.aiccopn.pt/upload/PPP\\_17\\_11/Alexandra\\_Almeida\\_BEI.pdf](http://www.aiccopn.pt/upload/PPP_17_11/Alexandra_Almeida_BEI.pdf)

Certificação energética em Portugal (2013). “Classes energéticas, por tipo de edifício certificado em Portugal – Dados totais”. Access: Outubro, 2013, from: [http://www.imovirtual.com/estatisticas/certificacao\\_energetica/tipo\\_edificio/](http://www.imovirtual.com/estatisticas/certificacao_energetica/tipo_edificio/)

Congresso LiderA (2010). “Passivhaus na Alemanha”. Lisboa. Portugal.

Constantino, A. Balares; Kalliopi Droutsa; Elena Dascalaki; Simon Kontoyiannidis (2005). Deterioration of European apartment buildings. *Energy and Building*, 37, 515-527. doi:10.1016/j.enbuild.2004.09.010

CPCI, 2010. Access: Outubro, 2013, from: [http://www.cpci.pt/wp-content/uploads/2010/10/Estudo\\_CPCI.pdf](http://www.cpci.pt/wp-content/uploads/2010/10/Estudo_CPCI.pdf)

Dall’O, Giuliano; Annalisa Galante; Giulia Pasetti (2012). A methodology for evaluation the potencial energy savings of retrofitting residential buildings stocks. *Sustainable Cities and Society*, 4, 12-21. doi:10.1016/j.scs.2012.01.004

Decreto-Lei n.º79/2006 de 4 de Abril. Diário da República n.º 67/2006 – I Série -A

Decreto-Lei n.º80/2006 de 4 de Abril. Diário da República n.º 67/2006 – I Série –A

Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de Agosto. Diário da República n.º159/2013 – 1ª Série

Delgado, Maria (2008). “A Requalificação Arquitetónica na Reabilitação de Edifícios. Critérios Exigências de Qualidade; Estudo de casos”. Dissertação para obtenção do grau de Mestre apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade do Porto.

Despacho n.º 15793-C/2013 de 3 de Dezembro. Diário da República n.º234/2013 – 2ª Série

Despacho n.º 15793-D/2013 de 3 de Dezembro. Diário da República n.º234/2013 – 2ª Série

Despacho n.º 15793-F/2013 de 3 de Dezembro. Diário da República n.º234/2013 – 2ª Série

Despacho n.º 15793-H/2013 de 3 de Dezembro. Diário da República n.º234/2013 – 2ª Série

Despacho n.º 15793-I/2013 de 3 de Dezembro. Diário da República n.º234/2013 – 2ª Série

Despacho n.º 15793-J/2013 de 3 de Dezembro. Diário da República n.º234/2013 – 2ª Série

Despacho n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro. Diário da República n.º234/2013 – 2ª Série

Edifícios e Energia (2013). BEI intensifica apoio às renováveis e eficiência energética na Europa. Access: Outubro, 2013, from: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/noticia/bei-intensifica-apoio-as-renovaveis-e-eficiencia-energetica-na-europa>

EnerBuilding, (2008). Access: Outubro, 2014, from: [http://www.prestenergia.com/ficheiros/conteudos/files/EE\\_EdRes\\_enerbuilding.pdf](http://www.prestenergia.com/ficheiros/conteudos/files/EE_EdRes_enerbuilding.pdf)

EnerPhit (2010). Access: Agosto, 2014, from: [http://www.passiv.de/downloads/03\\_certification\\_criteria\\_enerphit\\_en.pdf](http://www.passiv.de/downloads/03_certification_criteria_enerphit_en.pdf)

EPBD – CA – *Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) Featuring Countries Report* 2010, Bruxelas, 2011. Access: Outubro, 2014, from: [www.epbd-ca.org](http://www.epbd-ca.org)

Euroconstruct (2005). “*Renovation Share in Total Construction Output*”. Access: Outubro, 2013, from: [http://www.euroconstruct.org/service/cotm/portugal08\\_05/country\\_otm.php](http://www.euroconstruct.org/service/cotm/portugal08_05/country_otm.php)

Feist, Wolfgang (1993). *Passivhäuser in Mitteleuropa*; Dissertation, Universität Kassel

Feist, Wolfgang ; Jürgen Schnieders; Viktor Dorer; Anne Haas (2005). Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy and Building*, 37, 1186-1203. doi:10.1016/j.enbuild.2005.06.020

Fricke, J., U. Heinemann, H.P.Ebert (2008). Vacuum insulation panels – From research to market. *Vaccum*, 82, 680-690. doi:10.1016/j.vaccum.2007.10.014

Ganhão, António (2011). “Construção Sustentável – Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação”. Dissertação para obtenção do grau de Mestre apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa.

Gavião, João (2012). “Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal”. ”. Dissertação para obtenção do grau de Mestre apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade do Minho.

IFDR (2009). “Iniciativa JESSICA Portugal”. Access: Outubro, 2014, from: <http://www.ifdr.pt/content.aspx?menuid=362>

INE (2011). “Índice de Produção, Emprego e Remunerações na Construção”. Access: Outubro, 2013, from: [www.ine.pt](http://www.ine.pt)

Iniciativa Jéssica (2009). “Perguntas frequentes”. Access: Outubro, 2013, from: [http://www.porlisboa.qren.pt/np4/file/1/faq\\_jessica.pdf](http://www.porlisboa.qren.pt/np4/file/1/faq_jessica.pdf)

IPCC, “Working Group III,” Mitigation of Climate Change. Chapter 9. Buildings, September 2014.

iPHA (2013). “*Passive House Planning Package (PHPP)*”. Access: Outubro, 2013, from: <http://www.passivehouse-international.org>

ITeCons (2013). Ferramenta de Cálculo. Access: Abril, 2014, from: <http://www.itecons.uc.pt/p3e/>

J. Sachneider, A. Wagner, H. Heinrich, “Certification as a European Passive House planner,” in *Proceeding of 13th International Passive House Conference 2009*, Darmstadt, Germany, 2009.

Jornal Económico, 2010. Reabilitação ganha terreno à construção nova. Access: Outubro, 2013, from: <http://economico.sapo.pt>

Kurnitski, Jarek; Kalle Kuusk; Sara Arto J.; Targo Kalammes; Vuolle, Mika; Niemelä, Jouko; Tark, Teet (2011). Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance

calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. *Energy and Building*, 43, 3279-3288. doi:10.1016/j.enbuild.2011.08.033

Kurnitski, Jarel; Kalle Kuusk; Teet Tark; Aivar Uutar; Targo Kalammes; Ergo Pikas (2014). Energy and investment intensity of integrated renovation and 2030 cost optimal savings. *Energy and Building*, 75, 51-59. doi:10.1016/j.enbuild.2014.01.044

Lei n.º 58/2013 de 20 de agosto de 2013. Diário da República n.º159/2013 – 1ª Série

Lima, Filipa; Luís Bragança; Ricardo Mateus (2012). Edifícios Antigos – reabilitação sustentável low cost. Acess: Outubro, 2013, from: [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21742/1/WMCRS12\\_Lima\\_Braganca\\_Mateus.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21742/1/WMCRS12_Lima_Braganca_Mateus.pdf)

Mahdavi, Ardeshir; Eva-Maria Doppelbauer (2010). A performance comparison of passive and low-energy buildings. *Energy and Building*, 42, 1314-1319. doi:10.1016/j.enbuild.2010.02.025

Morbey, Rui; Ricardo Mateus; Luís Bragança (2012). Low-tech como alternativa sustentável de reabilitação low-cost. Acess: Outubro, 2013, from: [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21743/1/WMCRS12\\_Morbey\\_Mateus\\_Braganca.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21743/1/WMCRS12_Morbey_Mateus_Braganca.pdf)

Passipédia. (2014). Access: Maio, 2014, from: em <http://passipedia.org/>.

Passive House Institute (2013). Manual Passive House Planning Package – “Energy balance and Passive House Design Tool for quality approved Passive Houses and EnerPhit retrofits”.

Passive House Institute. Access: Setembro, 2014, from: [www.passiv.de](http://www.passiv.de)

Passivhaus (2011). EnerPhit Standard – Certification criteria for refurbished buildings. Access: Outubro, 2013, from: [www.passivhaus.org](http://www.passivhaus.org)

Passivhaus zero-energy (2013). “Critérios de Certificação”. Access: Outubro, 2013, from: <http://www.passivhauszero-energy.com>

Poel, Bart; Gerelle van Cruchten; Constantinos A. Balares (2007) Energy performance assessment of existing dwellings. *Energy and Building*, 39, 393-403. doi:10.1016/j.enbuild.2006.08.008

Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro de 2013. Diário da República n.º232/2013 – I Série

Portaria n.º 349-C/2013 de 29 de novembro de 2013. Diário da República n.º232/2013 – I Série

Renovate Europe (2011). Access: Outubro, 2014, from: [www.renovate-europe.eu/renovate-europe-campaign/ambition-2](http://www.renovate-europe.eu/renovate-europe-campaign/ambition-2)

Renovate Europe (2014). Access: Novembro, 2014, from: <http://www.renovate-europe.eu/uploads/REDay2014%20Press%20Release.pdf>

Revista Climatização (2011). “Passivhaus – as novas casas passivas”. Access: Outubro, 2013, from: <http://www.eco.edp.pt/passivhaus-as-novas-casa-passivas?lang=pt>

Rodrigues, Marília (2014). “Evolução da Regulamentação Térmica de Edifícios”. Dissertação para obtenção do grau de Mestre apresentada à Universidade do Porto.

SCE, 2006. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

S. McLeod, Robert; Christina J. Hopfe; Alan Kwan (2013). An investigation into future performance and overheating risks in Passivhaus dwellings. *Building and Environment*, 70, 189-209. doi:10.1016/j.buildenv.2013.08.024

Silva, Pedro; Manuela Almeida; Luís Bragança (2012) “Módulo Inovador para a Reabilitação energética”. Minho



*ANEXOS*







A

EXPLICAÇÃO DO CÁLCULO DA CLASSE ENERGÉTICA



## 1. Zonas climáticas

O zonamento climático do país baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei n.º 68/2008 de 14 de abril de 2008, entretanto alterado pelo Decreto-Lei n.º 85/2009, de 3 de abril e pela Lei n.º 21/2010 de 23 de agosto, e está detalhado na Tabela 01 no Despacho n.º 15793-F/2013 [Despacho n.º 15793-F/2013].

São definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3) para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente.

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias ( $GD$ ) na base de 18°C, correspondente à estação de aquecimento, conforme apresentado na Tabela 46. No RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) o número de graus-dias de aquecimento era de 20°C.

Tabela 46 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno

<b>Critério</b>	<b><math>GD \leq 1300</math></b>	<b><math>1300 &lt; GD \leq 1800</math></b>	<b><math>GD &gt; 1800</math></b>
<b>Zona</b>	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ( $\theta_{ext,v}$ ), conforme a Tabela 47.

Tabela 47 - Critérios para a determinação da zona climática de verão

<b>Critério</b>	<b><math>\theta_{ext,v} \leq 20^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>20^\circ\text{C} &lt; \theta_{ext,v} \leq 22^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>\theta_{ext,v} &gt; 22^\circ\text{C}</math></b>
<b>Zona</b>	V1	V2	V3

Para obter a zona climática onde o edifício se localiza, entre outros parâmetros climáticos como a temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento ( $\theta_{ext,i}$ ), a duração da estação de aquecimento ( $M$ ), a energia solar média mensal durante a estação de aquecimento ( $G_{sul}$ ) e a energia solar acumulada durante a estação de arrefecimento ( $I_{sol}$ ) é necessário saber a altitude a que se encontra o edifício, isto porque os valores dos

parâmetros climáticos  $X$  associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência  $X_{REF}$  para cada NUTS III e ajustados com base na altitude desse local,  $z$ , através da equação (Eq.13):

$$X = X_{REF} + \alpha(z - z_{REF}) \quad [\text{meses ou } ^\circ\text{C}] \quad (13)$$

Em que:

$X$  – parâmetros climáticos;

$X_{REF}$  – valor de referência do parâmetro climático;

$\alpha$  – declive associado ao parâmetro climático;

$z$  – altitude do local onde se situa o edifício;

$z_{REF}$  – altitude de referência do local

Os parâmetros climáticos para a estação de aquecimento (inverno) são os seguintes:

$GD$  – número de graus-dia, na base de  $18^\circ\text{C}$ , correspondente à estação de aquecimento;

$M$  – duração da estação de aquecimento;

$\theta_{ext,i}$  – temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento;

$G_{Sul}$  – energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, [ $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{mês})$ ]

Os parâmetros climáticos para a estação de arrefecimento (verão) são os seguintes:

$I_v$  – duração da estação = 4 meses = 2928 horas;

$\theta_{ext,v}$  – temperatura exterior média, [ $^\circ\text{C}$ ];

$I_{sol}$  – energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação  $0^\circ$ ) e em superfícies verticais (inclinação  $90^\circ$ ) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ].

Para poder calcular o parâmetro climático para cada município recorre-se aos valores de referência e declives para a estação de aquecimento e arrefecimento, que se encontra na Tabela 04 e 05 no Despacho n.º 15793/F/2013.

## 2. Parâmetros de caracterização térmica

### 2.1. Taxa de renovação do ar

Para obter um conforto interior adequado para os ocupantes é necessário recorrer a dois tipos de ventilações, a ventilação natural e a ventilação mecânica. A ventilação natural consiste na renovação do ar interior sem o recurso de elementos mecânicos, ou seja, a promoção da entrada de ar fresco no interior do edifício, substituindo o ar interior poluído. Este tipo de ventilação pode ser feito através da abertura das janelas, no entanto pode haver um desconforto para os ocupantes devido à diferença de temperatura do ar interior e exterior durante a estação de aquecimento.

A ventilação mecânica consiste na extração e insuflação de ar, cujo gradiente de ar é realizado por ventiladores.

A taxa de renovação de ar,  $R_{ph}$ , corresponde à soma dos caudais de ar admitidos no edifício a dividir pelo volume interior útil do edifício. Nos edifícios de habitação esse valor deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora para a estação de aquecimento e arrefecimento. No caso de o edifício recorrer à ventilação mecânica centralizada, o valor de  $R_{ph}$  a adotar será o valor indicado do projeto de ventilação.

É importante salientar que o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) disponibiliza uma ferramenta de cálculo do tipo folha de cálculo com o intuito de obter os valores da taxa de renovação de ar a considerar nas estações de aquecimento,  $R_{ph,i}$  e de arrefecimento,  $R_{ph,v}$ . Na estação de aquecimento e exclusivamente para efeitos de cálculo, não deverá ser utilizado um valor de  $R_{ph,v}$  inferior a  $0,6h^{-1}$ .

Os dados a inserir na folha de cálculo para a obtenção do valor da taxa de renovação horária nominal,  $R_{ph}$  são:

- Tipo de edifício (novo, habitação, unifamiliar ou multifamiliar);
- Número de fachadas expostas ao exterior;
- Parâmetros sobre a zona climática (região, rugosidade, temperatura exterior);
- Morfologia do edifício (altura do edifício, pé direito médio, área útil);
- Distância aos edifícios vizinhos;

- Tipo de ventilação;
- Características quanto a permeabilidade ao ar da envolvente;
- Contabilização da existência ou não de aberturas de admissão de ar na fachada.

Nesta presente dissertação o tipo de ventilação utilizada para o caso de estudo é a ventilação mecânica.

## 2.2 Fator solar

O fator solar de um vão envidraçado,  $g_{\perp,vi}$ , é o valor da relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar nele incidente [Despacho 118/2013].

O fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, para uma incidência solar normal à superfície,  $g_{\perp}$ , deve ser fornecido pelo fabricante sendo que, para os casos em que não seja possível aceder a esta informação são apresentados valores do fator solar de várias composições de vidros simples ou duplos, compreendendo vidros planos incolores, coloridos, refletantes e foscos, que se encontram na Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013. Poderá também ser efetuado o cálculo do fator solar de outras composições de acordo com o método de cálculo especificado na norma EN 410.

Para o cálculo das necessidades de aquecimento considera-se que os dispositivos de proteção solar móveis estão totalmente abertos. Considera-se que o fator solar  $g_i$  é igual ao fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes  $g_i = g_{Tp}$  que, no caso de ausência desses dispositivos, será igual ao fator solar do vidro para uma incidência solar normal afetado do fator de seletividade angular, conforme a equação (Eq.14):

$$g_i = F_{w,i} \times g_{\perp,vi} \quad (14)$$

Em que o  $F_{w,i}$  é o fator corrigido que traduz a variação da incidência da radiação solar, consoante a orientação, tem o valor de 0,9. O valor de  $g_{\perp,vi}$  é retirado da Tabela 12 do Despacho n.º15793-K/2013.

Para o cálculo das necessidades de arrefecimento considera-se que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram ativados uma fração do tempo que depende do octante no qual o vão está orientado, apresentando a equação (Eq.15):

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times g_{Tp} \quad (15)$$

Em que:

$F_{mv}$  – fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados;

$g_T$  – fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

$g_{Tp}$  – fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.

Na ausência de dispositivos de proteção solar fixos,  $g_{Tp}$  corresponde a  $F_{w,v} g_{\perp,vi}$ .

A fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram totalmente ativados na estação de arrefecimento,  $F_{mv}$ , em função da orientação do vão é obtida conforme apresentado na Tabela 14 e 21 do Despacho n.º 15793-K/2013. Caso não existam dispositivos de proteção solar móveis,  $F_{mv}$  corresponde a 0.

Relativamente ao valor de fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar,  $g_{Tvc}$ , pode ser consultado na Tabela 13 do Despacho n.º 15793-K/2013. Nesta tabela encontram-se os valores do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção, permanente, ou móvel totalmente ativado, para vidros simples e duplos. Importo referir que se entende por vidro corrente, o vidro simples incolor de 6 mm ou o vidro duplo incolor com um pano de 4 a 8 mm e o outro pano de 5 mm. Importa também referir que é necessário saber a cor do revestimento da superfície exterior do elemento, se é de cor clara, média ou escura, como se pode observar na Tabela 08 do Despacho n.º 15793-K/2013, que define o coeficiente de absorção da radiação solar,  $\alpha$ .

No produtório das supra mencionadas equações, deverão ser consideradas as proteções solares existentes para o interior até à primeira proteção solar opaca, inclusive.

Se existir pelo menos um dispositivo de proteção opaco exterior ao vidro, o produtório deve ser feito no sentido do exterior para o interior até à proteção opaca, sem que seja afetado o fator solar do vidro  $g_{\perp,vi}$ .

A Portaria n.º 349-B/2013 indica que os envidraçados, cujo somatório das áreas dos vãos envidraçados seja superior a 5% da área do pavimento do compartimento servido por estes  $A_{pav}$  e desde que não orientados no quadrante Norte inclusive, devem apresentar um fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção 100% ativados ( $g_T$ ), que obedeça às seguintes condições:

I) Se  $A_{env} \leq 15\% A_{pav}$ ,  $g_T \times F_o \times F_f \leq g_{Tmáx}$

II) Se  $A_{env} > 15\% A_{pav}$ ,  $g_T \times F_o \times F_f \leq g_{Tmáx} \times \frac{0,15}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)}$

Em que:

$g_T$  – fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

$F_o$  – fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

$F_f$  – fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício;

$g_{Tmáx}$  – fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados, obtido na Tabela I.06 da Portaria n.º 349-B/2013;

$A_{env}$  – soma das áreas dos vãos envidraçados que servem o compartimento [ $m^2$ ];

$A_{pav}$  – área do pavimento do compartimento servido pelo(s) vão(s) envidraçado(s) [ $m^2$ ].

O fator solar global,  $g_T$ , de um vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas, calcula-se através a seguinte equação (Eq. 16 e 17):

I) Vidro simples

$$g_T = g_{\perp,vi} \times \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,85} \quad (16)$$



## II) Vidro duplo

$$g_T = g_{\perp,vi} \times \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75} \quad (17)$$

Em que:

$g_{Tvc}$  – fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro conforme apresenta a tabela 3

$g_{\perp,vi}$  – fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro, conforme informação do fabricante.

### 3. Necessidades nominais de energia

As necessidades nominais de energia para a estação de aquecimento correspondem à quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício ou uma fração a uma temperatura interior de referência durante o período de inverno. Caso isso não seja possível, ou seja, se as perdas de calor forem superiores aos ganhos, é necessário fornecer uma energia auxiliar para atingir uma temperatura de conforto ideal (18°C). O valor das necessidades nominais de energia útil para aquecimento do edifício,  $N_{ic}$ , é calculado através da seguinte equação (Eq.18):

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}) / A_p \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{ano})] \quad (18)$$

Em que:

$Q_{tr,i}$  – transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh];

$Q_{ve,i}$  – transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{gu,i}$  – ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh];

$A_p$  – área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m<sup>2</sup>].

A metodologia de cálculo das perdas e dos ganhos na estação de aquecimento encontra-se definida nas equações (Eq.19) e (Eq.20).

A transferência de calor por transmissão através da envolvente ( $Q_{tr,i}$ ) surge ao longo da estação de aquecimento, devido à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, que se traduz em perdas de calor calculadas através da seguinte expressão (19):

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times GD \times H_{tr,i} \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

Em que:

$GD$  – número de graus-dias de aquecimento especificados para cada região NUTS III, [ $^{\circ}\text{Cdia}$ ];

$H_{tr,i}$  – coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, [ $\text{W}/^{\circ}\text{C}$ ].

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão ( $H_{tr,i}$ ) traduz a condutância, através de toda a superfície dos elementos da envolvente, compreendendo paredes, envidraçados, coberturas, pavimentos e pontes térmicas planas, para efeito de cálculo das necessidades na estação de aquecimento, que resulta com a soma de quatro parcelas, que se apresentam na seguinte equação (Eq.20):

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [\text{W}/^{\circ}\text{C}] \quad (20)$$

Em que:

$H_{ext}$  – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [ $\text{W}/^{\circ}\text{C}$ ];

$H_{enu}$  – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, [ $\text{W}/^{\circ}\text{C}$ ];

$H_{adj}$  – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, [ $\text{W}/^{\circ}\text{C}$ ];

$H_{ecs}$  – coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo, [ $\text{W}/^{\circ}\text{C}$ ].

O coeficiente de transferência de calor por transmissão ( $H_{ext}$ ) através da envolvente exterior calcula-se de acordo com a seguinte equação (Eq.21):

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\varphi_j \times B_j] \quad [W/^\circ C] \quad (21)$$

Em que:

$U_i$  – coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente,  $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ ;

$A_i$  – área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício,  $[m^2]$ ;

$\varphi_j$  – coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j, obtido de acordo com a Tabela 07 do Despacho n.º 15793-K/2013 ;

$B_j$  – desenvolvimento linear da ponte térmica linear j, medido pelo interior do edifício,  $[m]$ .

Não se contabilizam pontes térmicas lineares em paredes de compartimentação que intersejam paredes, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não úteis, nem em paredes interiores, separando um espaço interior útil de um espaço não útil ou de um edifício adjacente, desde que o  $b_{tr} \leq 0,7$ .

Os coeficientes de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com espaços não úteis,  $H_{enu}$ , e em contacto com edifícios adjacentes,  $H_{adj}$ , calculam-se de acordo com a seguinte equação (Eq.22):

$$H_{enu,adj} = b_{tr} \times (\sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\varphi_j \times B_j]) \quad [W/^\circ C] \quad (22)$$

Em que:

$b_{tr}$  – coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente, determinado de acordo com a Tabela 22 do Despacho n.º 15793-K/2013.

Caso não seja possível conhecer com precisão o valor da temperatura do local não útil, dependendo do uso concreto e real de cada espaço, admite-se que para alguns tipos de espaços não úteis o  $b_{tr}$  possa tomar os valores indicados na tabela anterior, em função da taxa de renovação do ar, da razão  $A_v/A_u$ .

Para os efeitos do número anterior,  $A_i$  é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil,  $A_u$  é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior e  $V_{enu}$  é o volume do espaço não útil.

Para espaços fortemente ventilados o  $b_{tr}$  deverá tomar o valor de 1. Para elementos de construção que separam o espaço com condições de referência de um espaço fechado de um edifício adjacente, deve ser utilizado um valor do coeficiente de redução de perdas cujo valor é de 0,6.

O cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo deve ser feito de acordo com a metodologia definida na norma EN ISO 13370, ou através da seguinte equação (Eq.23):

$$H_{esc} = \sum_i [U_{bfi} \times A_i] + \sum_j [z_j \times P_j \times U_{bwj}] \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (23)$$

Em que:

$U_{bfi}$  – coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado  $i$ ,  $[\text{W}/(\text{m}^2\text{C})]$ ;

$A_i$  – área do pavimento em contacto com o solo  $i$ , medida pelo interior do edifício,  $[\text{m}^2]$ ;

$z_j$  – profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo  $j$ ,  $[\text{m}]$ ;

$P_j$  – desenvolvimento total da parede em contacto com o solo  $j$ , medido pelo interior,  $[\text{m}]$ ;

$U_{bwj}$  – coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo  $j$ ,  $[\text{W}/(\text{m}^2\text{C})]$ .

É importante referir que na situação de pavimento térreo que se encontra ao mesmo nível que o solo, o cálculo resume-se à primeira parcela da equação, uma vez que  $z=0$ . No caso de pavimento térreo em que existe isolamento térmico perimetral, o fator  $U_{bfi}$  será substituído por  $U_{f,ei}$ , correspondente ao coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo  $i$  com isolamento térmico perimetral.

O valor do coeficiente de transmissão térmica de pavimento em contacto com o terreno  $U_{bf}$ ,  $(\text{W}/(\text{m}^2\text{C}))$ , determina-se com base nas Tabelas 03 a 05 do Despacho n.º 15793/k/2013, em função dos seguintes elementos:

I) Dimensão característica do pavimento  $B'$ ;

II) Resistência térmica de todas as camadas do pavimento  $R_f$ , com exclusão de resistências térmicas superficiais;

III) Largura ou profundidade do isolamento  $D$ , respetivamente, no caso do isolamento perimetral horizontal ou vertical.

A dimensão característica do pavimento calcula-se com base na seguinte equação (Eq.24):

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \times P} \quad [\text{m}] \quad (24)$$

Em que:

$A_p$  – área interior útil de pavimento, medida pelo interior,  $[\text{m}^2]$ ;

$P$  – perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total da parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior,  $[\text{m}]$ ;

$R_f$  – resistência térmica de todas as camadas do pavimento, com exclusão de resistências térmicas superficiais,  $[(\text{m}^2\text{°C})/\text{W}]$ ;

$D$  – Largura ou profundidade do isolamento, respetivamente, no caso do isolamento perimetral horizontal ou vertical,  $[\text{m}]$ .

De seguida, apresentam-se as perdas de calor por renovação de ar, que correspondem à renovação do ar interior durante a estação de aquecimento, que são calculadas pelas seguintes equações (Eq.25) e (Eq.26):

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i} \quad [\text{kWh}] \quad (25)$$

onde,

$$H_{ve,i} = 0,34 \times R_{ph,i} \times A_p \times P_d \quad [\text{W/°C}] \quad (26)$$

Em que:

$R_{ph,i}$  – taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento,  $[\text{h}^{-1}]$ ;

$A_p$  – área interior útil de pavimento, medida pelo interior [ $m^2$ ];

$P_d$  – pé direito da fração, [m];

$H_{ve,i}$  – coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [ $W/^\circ C$ ].

Caso a ventilação seja assegurada pelos meios providos de dispositivos de recuperação de calor do ar extraído, a energia relativa às perdas que ocorrem por ventilação é dada pela seguinte equação (27):

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times b_{ve,i} \times 0,34 \times R_{ph,i} \times A_p \times P_d \quad [kWh] \quad (27)$$

Em que  $b_{ve,i}$  é o fator de correção da temperatura, tendo em conta o sistema de recuperação de calor, que se calcula de acordo com a seguinte equação (Eq.28):

$$b_{ve,i} = 1 - \eta_{RC} \times \frac{V_{ins}}{R_{ph,i} \times A_p \times P_d} \quad (28)$$

Em que:

$\eta_{RC}$  – rendimento do sistema de recuperação de calor;

$V_{ins}$  – valor médio diário do caudal de ar insuflado através do sistema de recuperação de calor, [ $m^3/h$ ].

Os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultante dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, iluminação, equipamentos e ocupação traduzem-se de acordo com a seguinte equação (Eq.29):

$$Q_{gu,i} = \eta_i \times Q_{g,i} \quad [kWh] \quad (29)$$

Em que:

$\eta_i$  – fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento;

$Q_{g,i}$  – ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, [kWh].

A expressão 29 resulta do produto do fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento com os ganhos térmicos brutos na referida estação, uma vez que nem todos os ganhos térmicos são de aquecimento útil, podendo verificar-se um sobreaquecimento.

Nas estações de aquecimento e de arrefecimento, os fatores de utilização dos ganhos térmicos,  $\eta_i$  e  $\eta_v$ , são calculados de acordo com as seguintes equações (Eq.30), (Eq.31) e (Eq.32):

$$\text{I) Se } \gamma \neq 1 \text{ e } \gamma > 0, \text{ então } \eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (30)$$

$$\text{II) Se } \gamma = 1, \text{ então } \eta = \frac{a}{a+1} \quad (31)$$

$$\text{III) Se } \gamma < 0, \text{ então } \eta = \frac{1}{\gamma} \quad (32)$$

Em que:

$$\gamma = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve}) \quad (33)$$

$Q_{tr}$  – transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios, na estação em estudo [kWh];

$Q_{ve}$  – transferência de calor por ventilação na estação em estudo [kWh];

$Q_g$  – ganhos térmicos brutos na estação em estudo [kWh];

$a$  – parâmetro que traduz a influência da classe de inércia térmica.

O parâmetro  $a$  é definido em função da classe de inércia térmica do edifício, sendo igual a um dos seguintes valores:

- i. 1,8 – correspondente a edifícios com inércia térmica fraca [W/°C];
- ii. 2,6 - correspondente a edifícios com inércia térmica média [W/°C];
- iii. 4,2 - correspondente a edifícios com inércia térmica forte [W/°C].

Os ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de aquecimento do edifício têm duas parcelas, conforme a seguinte equação (Eq.34):

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad [\text{kWh}] \quad (34)$$

Em que:

$Q_{int,i}$  – ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{sol,i}$  – ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento [kWh].

Os ganhos térmicos internos incluem qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, nomeadamente, os ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes e o calor dissipado nos equipamentos e nos dispositivos de iluminação. Esses ganhos térmicos internos são calculados durante toda a estação de aquecimento, com base na seguinte equação (Eq.35):

$$Q_{int} = 0,72 \times q_{int} \times M \times A_p \quad [\text{kWh}] \quad (35)$$

Em que:

$q_{int}$  – ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a 4 W/m<sup>2</sup>;

$M$  – duração média da estação convencional de aquecimento, [mês];

$A_p$  – área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m<sup>2</sup>].

O cálculo dos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento deve ser efetuado de acordo com a equação (36):

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times \sum_j \left[ X_j \times \sum_n F_{s,i_{nj}} \times A_{s,i_{nj}} \right] \times M \quad [\text{kWh}] \quad (36)$$

Em que:

$G_{sul}$  – valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície, [kWh/(m<sup>2</sup>mês)];

$X_j$  – fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a Tabela 01 do Despacho n.º 15793-I/2013;



$F_{s,ijn}$  – fator de obstrução do vão envidraçado  $n$  com orientação  $j$  na estação de aquecimento;

$A_{s,ijn}$  – área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície  $n$  com a orientação  $j$ , [m<sup>2</sup>];

$j$  – índice que corresponde a cada uma das orientações;

$n$  – índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação  $j$ ;

$M$  – duração média da estação convencional de aquecimento, [mês].

As superfícies são consideradas horizontais quando apresentam inclinação inferior a 60° face ao plano horizontal, sendo as restantes consideradas verticais. Para o cálculo da área efetiva coletora das superfícies verticais e para cada uma das orientações, efetua-se o somatório das áreas coletoras situadas nesse octante.

Para calcular a área efetiva coletora,  $A_{s,ijn}$ , deverá ser calculada vão a vão, com base na seguinte equação (Eq.37):

$$A_{s,ijn} = A_w \times F_g \times g_i \quad [\text{m}^2] \quad (37)$$

Em que:

$A_w$  – área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, [m<sup>2</sup>];

$F_g$  – fração envidraçada do vão envidraçado representada na Tabela 20 do Despacho n.º 15793-K/2013;

$g_i$  – fator solar de inverno.

O fator de obstrução dos vãos envidraçados,  $F_s$ , representa a redução na radiação solar que incide nestes devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos. Esse fator varia entre 0 e 1 e é obtido pela seguinte equação (Eq.38):

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f \quad (38)$$

Em que:

$F_h$  – fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

$F_o$  – fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

$F_f$  – fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício.

O ângulo de horizonte,  $\alpha$ , é definido como o ângulo entre o plano horizontal e a reta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior obstrução existente entre dois planos verticais que fazem  $60^\circ$  para cada um dos lados da normal ao envidraçado.

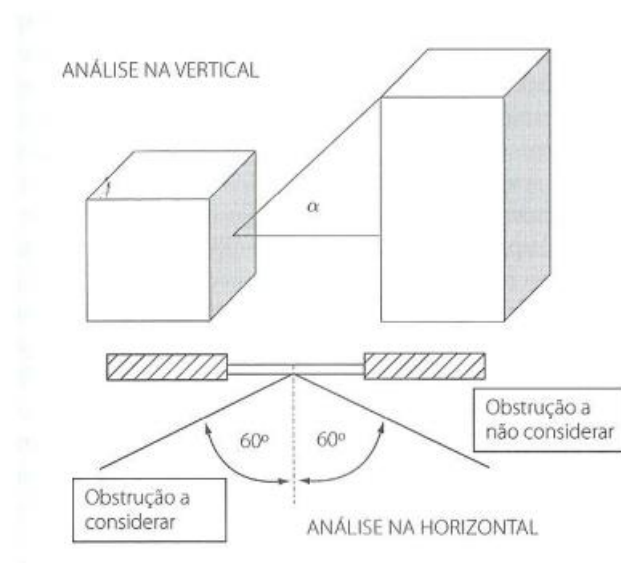


Figura 85 - Fator de sombreamento do horizonte [Rodrigues, 2014]

O ângulo de obstrução deve ser calculado individualmente para cada vão. Se não existir informação suficiente para o efeito, o fator de sombreamento do horizonte  $F_h$  deve ser determinado consoante a adoção de um ângulo de horizonte por defeito de  $45^\circ$  em ambiente urbano, ou de  $20^\circ$ , no caso de edifícios isolados localizados fora das zonas urbanas.

Depois de obter o ângulo do horizonte, consulta-se a Tabela 15 do Despacho n.º 15793-K/2013 que corresponde aos valores do fator de sombreamento do horizonte  $F_h$  na estação de aquecimento.

O sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes aos vãos envidraçados ou por elementos verticais, incluindo palas, varandas e outros elementos de um edifício, depende

do comprimento/ângulo de obstrução, da latitude, da exposição e do clima local. Os valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais,  $F_f$ , e horizontais,  $F_o$ , para a estação de aquecimento e arrefecimento estão presentes nas Tabelas 16 a 19 do Despacho n.º 15793-K/2013.

É importante referir que caso existam palas verticais à esquerda e à direita, o fator  $F_f$  será o produto dos fatores relativos aos ângulos provocados por cada uma das palas que não deve ser superior a 0,9.

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento,  $N_{ic}$ , das frações autónomas dos edifícios abrangidos pelo regulamento não podem exceder um valor máximo admissível,  $N_i$ , dado pela equação (Eq.39):

$$\frac{N_{ic}}{N_i} \leq R \quad (39)$$

As necessidades nominais anuais de energia útil para o aquecimento,  $N_i$ , devem ser determinadas de acordo com a seguinte equação (Eq.40):

$$N_i = (Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref}) / A_p \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{ano})] \quad (40)$$

Em que:

$Q_{tr,i,ref}$  – transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento [kWh];

$Q_{ve,i,ref}$  – transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento [kWh];

$Q_{gu,i,ref}$  – ganhos de calor úteis na estação de aquecimento [kWh];

$A_p$  – área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior em metros quadrados,  $[\text{m}^2]$ .

Estes parâmetros são determinados de acordo com o valor de referência da transferência de calor por transmissão através da envolvente,  $Q_{tr,i,ref}$ . Este valor deve ser determinado, considerando os coeficientes de transmissão térmica superficial de referência,  $U_{ref}$ , para

elementos opacos e envidraçados presentes na Tabela I.01 da Portaria n.º 349-B/2013, em função do tipo de elemento da envolvente e da zona climática; considerando coeficientes de transmissão térmica linear ( $\psi_{ref}$ ) indicados na Tabela I.02 da Portaria citada anteriormente, em função do tipo de ligação entre elementos da envolvente do edifício; considerando também a área de vãos até 20% da área interior útil de pavimento do edifício. Caso esse valor seja excedido, deve ser somado à área da envolvente opaca exterior, sendo que para ambos os tipos de elementos devem ser usados os respetivos  $U_{ref}$  referidos anteriormente.

O cálculo do valor de referência da transferência de calor por ventilação,  $Q_{ve,i,ref}$ , deve ser determinado, considerando uma taxa de renovação de ar de referência,  $R_{ph,ref}$ , igual à taxa de renovação para o edifício até 0,6 renovações por hora.

Por último, o cálculo dos ganhos de calor úteis,  $Q_{gu,i,ref}$ , deve ser determinado considerando os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar ( $Q_{sol,i} = G_{sul} \times 0,182 \times 0,20A_p$ ) e internos; e o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência unitário,  $\eta_{iref} = 0,6$ .

#### 4. Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

O cálculo das necessidades nominais de energia útil para a estação de arrefecimento,  $N_{vc}$ , é semelhante e complementa o cálculo dessas mesmas necessidades mas para a estação de aquecimento,  $N_{ic}$ . Importa referir que os ganhos não úteis provocam sobreaquecimento, o que implica a necessidade de arrefecimento desse espaço interior. O cálculo do referido arrefecimento é obtido através da seguinte equação (Eq.41):

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) \times Q_{g,v}/A_p \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \quad (41)$$

Em que:

$\eta_v$  – fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$  – ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kWh];

$A_p$  – área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [ $\text{m}^2$ ].

O fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento,  $\eta_v$ , é obtido de forma igual à da estação de aquecimento.

O cálculo dos ganhos térmicos brutos corresponde ao somatório entre os ganhos associados a fontes internas de calor e os ganhos associados à radiação solar, obtido pela seguinte equação (Eq.42):

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad [\text{kWh}] \quad (42)$$

Em que:

$Q_{int,v}$  – ganhos térmicos associados a fontes internas de calor;

$Q_{sol,v}$  – ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada.

Os ganhos térmicos internos correspondem a ganhos provocados pelos ocupantes, equipamentos e dispositivos de iluminação durante a estação de arrefecimento, obtidos pela seguinte equação (Eq.43):

$$Q_{int,v} = q_{int} \times A_p \times L_v / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (42)$$

Em que:

$Q_{int,v}$  – ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície igual a 4 W/m<sup>2</sup>;

$A_p$  – área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m<sup>2</sup>];

$L_v$  – duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

Relativamente aos ganhos solares na estação de arrefecimento, resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada, são obtidos pela seguinte equação (Eq.44):

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[ G_{sol,j} \sum n \times F_{s,v_{nj}} \times A_{s,v_{nj}} \right] \quad [\text{kWh}] \quad (44)$$

Em que:

$G_{sol,j}$  – energia solar média incidente numa superfície com orientação  $j$  durante toda a estação de arrefecimento, [kWh/m<sup>2</sup>];

$A_{s,vnj}$  - área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento  $n$  com a orientação  $j$ , [m<sup>2</sup>];

$j$  - índice correspondente a cada uma das orientações por octante e à posição horizontal;

$n$  - índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados com a orientação  $j$ ;

$F_{s,vnj}$  - fator de obstrução da superfície do elemento  $n$ , com a orientação  $j$ .

Relativamente ao fator de obstrução da superfície, este é calculado para a estação de aquecimento nos mesmos moldes da estação de arrefecimento, com a diferença de que para a estação de arrefecimento o efeito de sombreamento do horizonte não é considerado, tomando o fator  $F_h$  um valor igual a 1 e os fatores de sombreamento por elementos verticais e horizontais sobrepostos ao vão envidraçados  $F_o$  e  $F_f$ , estão indicados nas Tabelas 17 e 19 do Despacho n.º15793-K/2013.

Quanto à área efetiva coletora de radiação solar de cada vão envidraçado  $n$  com orientação  $j$ , deve ser calculada com a seguinte equação (Eq.45) aplicável a espaços úteis e não úteis:

$$A_{s,vnj} = A_w \times F_g \times g_v \quad [\text{m}^2] \quad (45)$$

Em que:

$A_w$  - área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e o caixilho, [m<sup>2</sup>];

$F_g$  - fração envidraçada do vão envidraçado;

$g_v$  - fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento.

Por último, apresenta-se o cálculo da área efetiva coletora,  $A_{s,vnj}$ , que é obtido pela seguinte equação (Eq.46):

$$A_{s,vnj} = (A_w)_{int} \times (F_g)_{int} \times (g_v)_{int} \times (g_v)_{enu} \quad [\text{m}^2] \quad (46)$$

Em que:

$(A_w)_{int}$  - área total do vão envidraçado interior, incluindo o vidro e caixilho, [m<sup>2</sup>];

$(F_g)_{int}$  - fração envidraçada do vão envidraçado interior;

$(g_v)_{int}$  – fator solar na estação de arrefecimento, do vão envidraçado interior;

$(g_v)_{enu}$  – fator solar na estação de arrefecimento, do vão do espaço não útil.

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento,  $N_{vc}$ , das frações autónomas dos edifícios abrangidos pelo regulamento não podem exceder um valor máximo admissível,  $N_v$ , obtido através da seguinte equação (Eq.47):

$$\frac{N_{vc}}{N_v} \leq R \quad (47)$$

O valor de  $N_v$  é obtido através da seguinte equação (Eq.48):

$$N_v = (1 - \eta_{vref}) \times Q_{g,vref} / A_p \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{ano})] \quad (48)$$

Em que:

$\eta_{vref}$  – fator de utilização de ganhos de referência;

$Q_{g,vref}$  – ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento [kWh];

$A_p$  – área interior útil de pavimento do edifício, medido pelo interior [ $\text{m}^2$ ].

O fator de utilização de ganhos de referência na estação de arrefecimento é dado pela seguinte equação (Eq.49):

$$\eta_{vref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta, se \Delta\theta > 1 \\ 0,45 se 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,3 se \Delta\theta \leq 0 \end{cases} \text{ e } \Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} \quad (49)$$

Em que:

$\theta_{ref,v}$  – temperatura interior de referência na estação de arrefecimento, contabilizada em 25 graus-celsius ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\theta_{ext,v}$  – temperatura exterior média na estação de arrefecimento no local de acordo com o Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia.

Os ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, são dadas pela seguinte equação (Eq.50):

$$\frac{Q_{g,ref}}{A_p} = \left[ q_{int} \times \frac{L_v}{1000} + g_{vref} \times (A_w/A_p)_{ref} I_{solref} \right] \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (50)$$

Em que:

$q_{int}$  – ganhos internos médios, contabilizados em  $4 \text{ W/m}^2$ ;

$I_{sol,ref}$  – radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste, de acordo com o Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia [ $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$ ];

$L_v$  – duração da estação de arrefecimento, contabilizada em 2928 horas;

$(A_w/A_p)_{ref}$  – razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento, que se assume igual a 20%;

$g_{vref}$  – fator solar de referência para a estação de arrefecimento, contabilizada em 0,43.

##### 5. Necessidade de energia útil para a preparação de águas quentes sanitárias (AQS)

O sistema de aquecimento de águas quentes sanitárias deve fornecer uma energia útil para atingir a temperatura de  $35^\circ\text{C}$ . Essa energia útil necessária para a preparação de AQS durante um ano será calculada de acordo com a seguinte equação (Eq.51):

$$Q_a = (M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times \eta_d) / 3600000 \quad [\text{kWh/ano}] \quad (51)$$

Em que:

$\Delta T$  – aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS e que, para efeitos do presente cálculo, toma o valor de referência de  $35^\circ\text{C}$ ;

$n_d$  – número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais que, para efeitos do presente cálculo, se considera de 365 dias.

Nos edifícios de habitação, o consumo médio diário de referência será calculado de acordo com a seguinte equação (Eq.52):

$$M_{AQS} = 40 \times \eta \times f_{eh} \quad [\text{litros}] \quad (52)$$



Em que:

$\eta$  – número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia da fração sendo que se deve considerar 2 ocupantes no caso da tipologia T0 e  $n+1$  ocupantes nas tipologias do tipo  $Tn$  com  $n > 0$ ;

$f_{eh}$  – fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo sector das instalações prediais. Para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior,  $f_{eh} = 0,9$ , sendo que nos restantes casos,  $f_{eh} = 1$ .

#### 6. Energia produzida a partir de fontes renováveis

A energia produzida pelo sistema solar térmico deve ser determinada com recurso à versão em vigor do programa Solterm do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) ou outra ferramenta que utilize metodologia de cálculo equivalente. Essa energia produzida a partir de fontes renováveis envolve os sistemas solares fotovoltaicos, sistemas eólicos, sistemas de queima de biomassa sólida, geotermia, mini-hídrica, aerotérmica e geotérmica (bombas de calor).

Segundo a Portaria n.º 349-B/2013, os sistemas de coletores solares térmicos a instalar devem proporcionar uma contribuição de energia renovável igual ou superior à calculada para um sistema idêntico ao previsto ou instalado, baseado em coletores solares padrão com as seguintes características:

- Orientação a Sul e com inclinação de 35°;
- Apresentação dos seguintes parâmetros geométricos, óticos e térmicos:
  - Planos com área de abertura de 0,65 m<sup>2</sup> por ocupante convencional;
  - Rendimento ótico de 73%;
  - Coeficientes de perdas térmicas  $a_1=4,12 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^2)$  e  $a_2=0,014 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^2)$ ;
  - Modificador de ângulo para incidência de 50° igual a 0,91.

#### 7. Necessidades nominais globais de energia primária ( $N_{tc}$ )

A verificação das necessidades globais anuais de energia primária impostas pelo regulamento resultam da soma das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com os  $n$  usos: aquecimento, arrefecimento, produção de AQS e ventilação mecânica, deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável e de acordo com a seguinte equação (Eq.53):

$$\begin{aligned}
 N_{tc} = & \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \times N_{ic}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} \\
 & + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \times \delta \times N_{vc}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} \\
 & + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \times \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \times F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \times F_{pu,p}
 \end{aligned}$$

[kWh<sub>EP</sub>/(m<sup>2</sup>ano)] (53)

Em que:

$N_{ic}$  – Necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema  $k$  [kWh/(m<sup>2</sup>ano)];

$f_{i,k}$  – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema  $k$ ;

$N_{vc}$  – Necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema  $k$  [kWh/(m<sup>2</sup>ano)];

$f_{v,k}$  – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema  $k$ ;

$Q_a$  – Necessidades de energia útil para preparação de AQS, suprimidas pelo sistema  $k$  [kWh/ano];

$F_{a,k}$  – Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS suprimidas pelo sistema  $k$ ;

$\eta_k$  – Eficiência do sistema  $k$ , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

$j$ - Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

$p$  – Fontes de energia renovável;

$E_{ren,p}$  – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável  $p$ , [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida;

$W_{vm}$  – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [kWh/ano];

$A_p$  – Área interior útil de pavimento [m<sup>2</sup>];

$F_{pu,j}$  e  $F_{pu,p}$  – Fator de conversão de energia útil para energia primária, [kWh<sub>EP</sub>/kWh];

$\delta$  – Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

É importante referir que o somatório das parcelas das necessidades de energia útil para cada um dos diferentes usos tem de ser igual a 1. O somatório da energia produzida a partir de fontes renováveis tem de ser inferior ou igual à energia consumida para esse tipo de uso.

Na presente dissertação, existe um único sistema a fornecer a energia necessária para cada uma das utilizações, ou seja, as parcelas  $f_{i,k}$ ,  $f_{v,k}$ , e  $f_{a,k}$  têm o valor correspondente a 1.

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária corresponde ao valor das necessidades, admitindo a inexistência de consumos de energia associados à ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento de energias renováveis, incluindo sistemas de energia solar para aquecimento de águas quentes sanitárias, considerando de igual modo os valores e condições de referência na tabela I.03 da Portaria n.º 349-B/2013, para os principais parâmetros, em substituição das soluções previstas ou instaladas no edifício e calculado de acordo com a seguinte equação (Eq.54):

$$N_t = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \times N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \times \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} \text{ [kWh}_{EP}/(\text{m}^2\text{ano)} \quad (54)$$

Em que:

$N_i$  – valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh<sub>EP</sub>/(m<sup>2</sup>ano)];

$N_v$  – valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh<sub>EP</sub>/(m<sup>2</sup>ano)];

$Q_a$  – necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema de referência k [kWh/ano];

$f_{i,k}$  – parcela das necessidades de energia de aquecimento supridas pelo sistema de referência k;

$f_{v,k}$  – parcela das necessidades de energia de arrefecimento supridas pelo sistema de referência k;

$f_{a,k}$  – parcela das necessidades de energia de preparação de AQS supridas pelo sistema de referência k;

$\eta_{ref,k}$  – valores de referência para o rendimento dos diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados ou previstos para aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e preparação de AQS, conforme indicados na tabela I.03 da Portaria n.º 349-B/2013;

$j$  – fonte de energia;

$A_p$  – área interior útil de pavimento [m<sup>2</sup>];

$F_{pu,j}$  – fator de conversão para energia primária de acordo com a fonte de energia do tipo de sistemas de referência utilizado, em quilowatt-hora de energia primária por kwh [kWh<sub>EP</sub>/kWh].

Como referido anteriormente, para as necessidades nominais anuais globais de energia primária, o valor das parcelas  $f_{i,k}$ ,  $f_{v,k}$ , e  $f_{a,k}$  tem o valor correspondente a 1.

A classe energética é assim obtida, pelo quociente das necessidades nominais de energia primária,  $N_{ic}$ , e o seu limite máximo,  $N_t$ . A escala de classificação energética dos edifícios ou frações autónomas de edifícios é composta por 8 classes. Essas classes estão presentes na Tabela 01 do Despacho n.º15793-J/2013.





*B*

SISTEMA DE VENTILAÇÃO NILAN





# Certificate

## Passive House Suitable Component

For cool temperate climates, valid until 31. December 2013

Category: **Compact Heat Pump System**  
 Manufacturer: **Nilan A/S**  
**8722 Hedensted, DENMARK**  
 Product name: **Compact P (172 m³/h)**

**This certificate was awarded based on the following criteria (limit values\*):**

Thermal Comfort:  $\theta_{\text{supply air}} \geq 16,5^\circ\text{C}$   
 Heat Recovery of ventilation system:  $\eta_{\text{WRG,eff}} \geq 75\%$   
 Electric efficiency ventilation system:  $P_{\text{el}} \leq 0,45 \text{ Wh/m}^3$   
 Air tightness (internal/external):  $V_{\text{Leakage}} \leq 3\%$   
 Total Primary Energy Demand (\*\*):  $PE_{\text{total}} \leq 55 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$   
 Control and calibration (\*)  
 Air pollution filters (\*)  
 Anti freezing strategy (\*)  
 Noise emission and reduction (\*)

**Measured values to be used in PHPP (set point 172 m³/h)**  
**useful air flow rates 120 to 205 m³/h**

### Heating

		Test point 1	Test point 3	Test point 3	Test point 4	
Outside Air Temperature	$T_{\text{ext}}$	-3.7 °C	2.0 °C	6.9 °C		°C
Thermal Output Heating Heat Pump	$P_{\text{heating}}$	0.61	0.78	0.92		kW
COP number Heating Heat Pump	$COP_{\text{heating}}$	2.65	3.18	3.58		-
Maximum available supply air temperature with Heat Pump only(*)		28.6				°C

### Hot water

		Test point 1	Test point 3	Test point 3	Test point 4	
Outside Air Temperature	$T_{\text{ext}}$	-4.0 °C	2.0 °C	7.0 °C	20.2 °C	°C
Thermal Output Heat Pump for heating up storage tank	$P_{\text{power heating up}}$	0.60	0.83	0.99	1.14	kW
Thermal Output Heat Pump for reheating storage tank	$P_{\text{power reheating}}$	0.53	0.82	0.95	1.05	kW
COP Heat Pump for heating up storage tank	$COP_{\text{power heating up}}$	2.13	2.87	3.31	3.68	-
COP Heat Pump for reheating storage tank	$COP_{\text{power reheating}}$	1.81	2.72	3.05	3.28	-
Average storage tank temperature		50.5				°C
Specific storage heat losses		1.63				W/K
Exhaust air addition (if applicable)						m³/h

(\*) detailed description of criteria and key values see attachment.

(\*\*) for heating, domestic hot water (DHW), ventilation, auxiliary electricity in the reference building, explanation see attachment.

[www.passivehouse.com](http://www.passivehouse.com)

0391ch03

Passivhaus Institut  
 Dr. Wolfgang Feist  
 64283 Darmstadt  
 GERMANY



**Heat Recovery**  
 $\eta_{\text{WRG,eff}} = 80\%$

**Electric efficiency**  
 0.40 Wh/m³

**Air tightness**  
 $V_{\text{leak, internal}} = 1.0\%$   
 $V_{\text{leak, external}} = 1.1\%$

**Frost protection**  
 down to -4 °C

**Total Primary Energy Demand (\*\*)**  
**51.4 kWh/(m²a)**





C

CERTIFICAÇÃO - ENVIDRAÇADOS



# Certificate

## Certified Passive House Component

for cool, temperate climates; valid until 31.12.2014

Category: **Window Frame**  
 Manufacturer: **Cruz & Oliveira - Carpintaria e Mobiliár**  
 3660-070 São Pedro do Sul, Portugal  
 Product name: **EPW CN92**

This certificate was awarded based on the following criteria:

Given a  $U_g$  value of  $0.70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  and a window size of  $1.23 \text{ m}$  by  $1.48 \text{ m}$ ,

$$U_{W} = 0.80 \text{ W/(m}^2\text{K)} \leq 0.80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Taking into account the installation based thermal bridges and provided that the installation is, with regard to the thermal bridges, equal or better than shown in the data sheet, the window meets the following criterion.

$$U_{W, \text{installed}} \leq 0.85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

### Thermal data

	$U_f$ -value [W/(m <sup>2</sup> K)]	Width [mm]	$\Psi_g$ [W/(mK)]	$f_{Rsi}=0.25$ [-]
Spacer			Swisspacer Ultimate*	
Bottom	0.87	124	0.026	0.75
Side/top	0.81	110	0.026	

\*Spacers of lower thermal quality, especially those made of aluminium, lead to significantly higher thermal losses and lower temperature factors.

For further information, please see the data sheet

[www.passivehouse.com](http://www.passivehouse.com)

0531wi03

Passive House Institute  
 Dr. Wolfgang Feist  
 64283 Darmstadt  
 GERMANY



### Passive House Efficiency Class

